

Rene Paju

**KAUKOKÄYTÖN ALA-ASEMA-  
AUTOMAATIO -TUOTTEEN  
KEHITYSPROJEKTI**  
Tekniset vaatimukset ja suunnittelu

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Diplomityö  
Helmikuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Rene Paju: Kaukokäytön ala-asema-automaatio -tuotteen kehitysprojekti: Tekniset vaatimukset ja suunnittelu  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma  
Helmikuu 2020

---

Tässä diplomityössä on kuvattu pohjoismaisen sähköjakeluverkon murrosvaihetta ja esitetty erilaisia vaihtoehtoja sähkön toimitusvarmuuden ylläpitämiseksi ja parantamiseksi. Työssä on esitelty muuntamoille kehitetty uusi kaukokäytön ala-asema-automaatio -laite Netcon 200, joka toimii osana muuntamoautomaatiojärjestelmää. Työssä on myös esitetty verkonhaltijoiden motivaatioita investoida tämän kaltaisiin muuntamoautomaatiojärjestelmiin.

Tässä diplomityössä on tutkittu ja esitelty sähkölaitteen valmistukseen liittyviä lakeja ja standardien mukaisia vaatimuksia. Diplomityön tavoitteena oli suunnitella standardien ja EU-direktiivien vaatimukset täyttävä automaatiokeskuskaappi, johon Netcon 200 -tuote suunnitellaan asennettavaksi yhdessä muiden kojeiden kanssa.

Kirjallisuustutkimuksena tarkasteltiin pienjännitekeskusten valmistamiseen vaikuttavia standardeja. Tietoa asiakkaiden vaatimuksista kerättiin markkinatutkimuksen avulla. Työ jakaantuu lakien ja standardien määrittelemien vaatimusten käsittelyyn, asiakkaiden vaatimusten käsittelyyn sekä näiden perusteella tehtyyn suunnittelutyöhön.

Osana tätä diplomityötä suunniteltiin IEC 61439-2 -standardin mukainen ja asiakkaiden vaatimukset täyttävä automaatiokeskus, jonka ala-asemalaitteena toimii Netcontrolin valmistama Netcon 200. Diplomityön osana on luotu suunnitteludokumentaatio, jonka perusteella valmistettiin prototyyppi automaatiokeskuksesta. Diplomityön suunnitteluosio toimii ohjeena ja apuna diplomityön tilaajayrityksen tuotehallinnolle ja suunnittelijoille.

Avainsanat: Ala-asema-automaatio, jakeluverkkoautomaatio, kaukokäyttö, Netcon 200, Smart Grid, sähkönjakelu, toimitusvarmuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Rene Paju: RTU cabinet's development project: Technical requirements and product design  
Master of Science Thesis  
Tampere University  
Master's Degree Programme in Electrical Engineering  
February 2020

---

This thesis describes current changes in the medium voltage network in the Nordic countries. It explores different options for maintaining and improving the reliability of electricity distribution. The thesis presents a new RTU device, the Netcon 200, which is developed especially for the automation of secondary substations. The thesis also explores the motivations of distribution network operators to acquire automation systems of this kind.

The goal of this thesis was to design an RTU cabinet in compliance with EU-directives and standards. The literature review focuses on the laws and standards governing the manufacture of low voltage switchgear and control gear assemblies. As a part of this thesis, a market survey was carried out to gather customers' technical requirements.

This thesis is divided into two sections: an investigation of laws and standards as well as customers' requirements on first section. Other section focuses on more practical design work.

As a part of this thesis an RTU cabinet was designed in compliance with the IEC 61439-2 standard. Cabinet fulfills customer requirements and it is equipped with the Netcontrol's Netcon 200 RTU product. As a part of this thesis, design documentation was created which was used for manufacturing the prototype RTU cabinet. The design section of this thesis will be used as a guide for product management and product designers.

Keywords: Distribution automation, Netcon 200, Power distribution, Secondary substation automation, Smart Grid

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Netcontrol Oy:lle osana muutamaille suunnitellun kaukokäytön ala-asema-automaatio -tuotteen tuotekehitysprojektia.

Haluan kiittää työni ohjaajia professori Pekka Verhoa Tampereen yliopistosta ja Minna Blombergia Netcontrol Oy:stä.

Kiitän myös työnantajaani Netcontrol Oy:tä mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta. Lisäksi haluan kiittää vanhempiani, ystäviäni ja lähipiiriäni tuesta ja kannustuksesta tämän työn loppuun saattamiseksi.

Tampereella, 27.2.2020

Rene Paju

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1    Diplomityön tavoite.....	2
1.2    Netcontrol-yhtiö.....	2
2. SÄHKÖNJAKELUN TOIMITUSVARMUUS .....	4
2.1    Lainsäädäntö .....	4
2.2    Sähköverkon kehittäminen .....	5
2.3    Toteutustavat verkon kehittämiseksi .....	6
2.3.1 Verkostoautomaatio .....	6
2.3.2 Maakaapelointi.....	8
2.3.3 Smart Grid -konsepti .....	8
3. KESKIJÄNNITEVERKON AUTOMAATIO .....	11
3.1    Kaukokäyttö .....	12
3.2    Sähköasema-automaatio .....	14
3.2.1 Relesuojausjärjestelmät.....	16
3.2.2 IEC 61850 -standardi .....	17
3.3    Muuntamoautomaatio .....	17
4. VAATIMUKSET JA LAIT SÄHKÖLAITTEEN VALMISTUKSESTA .....	22
4.1    Sähköturvallisuuslain asettamat vaatimukset .....	22
4.2    Pienjännitedirektiivi .....	24
4.2.1 Valmistajan velvollisuudet .....	24
4.2.2 Sähkölaitteen vaatimusten mukaisuus .....	25
4.2.3 EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus .....	25
4.3    Standardien mukaiset vaatimukset.....	26
4.3.1 Vaatimukset liitännäisarvoista ja dokumentoinnista .....	28
4.3.2 Tekniset tunnusmerkit.....	29
4.3.3 Käyttöympäristön vaatimukset .....	29
4.3.4 Rakennevaatimukset .....	30
4.3.5 Suojaus sähköiskulta .....	31
4.3.6 Vikasuojaus .....	31
4.3.7 Suorituskykyvaatimukset.....	32
4.4    Tarkastukset vaatimusten täyttymisestä.....	33
4.5    Kappaletarkastukset.....	34
4.6    Vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen .....	35
5. TUOTE-ESITTELY.....	36
5.1    I/O-yksikkö .....	37
5.2    Mittausyksikkö.....	37
5.3    Käyttöliittymä.....	38

6. TUOTESUUNNITTELU .....	40
6.1    Tavoitteet ja yleiset vaatimukset.....	40
6.2    Asiakaskohtaiset vaatimukset .....	41
6.2.1 Tekniset vaatimukset .....	42
6.2.2 Vaatimukset asennuksesta ja käytöstä .....	45
6.2.3 Käyttöympäristön vaatimukset .....	45
6.2.4 Testausvaatimukset.....	46
6.3    Sähkösuunnittelu .....	46
6.3.1 Johtimet ja liittinrajapinnat.....	47
6.3.2 Suojalaitteet.....	49
6.3.3 Teholähde.....	51
6.3.4 Akusto.....	52
6.3.5 Optiot ja lisälaitteet.....	54
6.4    Suunnitteludokumentaatio.....	56
6.4.1 Piirikaaviosuunnittelu .....	57
6.4.2 Layout-suunnittelu.....	59
6.4.3 Liitântätaulukko.....	60
7. YHTEENVETO.....	61
LÄHTEET .....	64
LIITE A: PIIRIKAAVIO .....	68
LIITE B: LAYOUT-KUVA.....	69

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Vyöhykesuojaus jakeluverkossa (VTT 2006)</i> .....	7
<b>Kuva 2.</b>	<i>Automatisoidut toiminnot Smart Grid -konseptissa (IEEE 2010)</i> .....	9
<b>Kuva 3.</b>	<i>Älyverkkovisio (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018)</i> .....	10
<b>Kuva 4.</b>	<i>Kaukokäyttöjärjestelmän lohkokaavio (Elovaara &amp; Haarla 2011)</i> .....	13
<b>Kuva 5.</b>	<i>Kaukokäytön ala-aseman periaatekuva (Elovaara &amp; Haarla 2011)</i> .....	15
<b>Kuva 6.</b>	<i>Muuntamon keskijännitekojeiston pääkaavio (ABB 2013)</i> .....	18
<b>Kuva 7.</b>	<i>Siemens 8DJH -keskijännitekojeisto (Siemens 2017)</i> .....	19
<b>Kuva 8.</b>	<i>Ulkoa käytettävä HEKA-muuntamo (Harju Elekter 2019)</i> .....	20
<b>Kuva 9.</b>	<i>Muuntamoautomaatiojärjestelmä (Kumpulainen et al. 2011)</i> .....	21
<b>Kuva 10.</b>	<i>Netcon 200 RTU (Netcontrol 2019c)</i> .....	37
<b>Kuva 11.</b>	<i>Netcon 200 RTU:n mittausyksikkö (Netcontrol 2019c)</i> .....	38
<b>Kuva 12.</b>	<i>WebGUI-käyttöliittymä (Netcontrol 2019d)</i> .....	39
<b>Kuva 13.</b>	<i>Kaappikoko (Netcontrol 2019b)</i> .....	43
<b>Kuva 14.</b>	<i>Riviliitintyyppi (Netcontrol 2019b)</i> .....	44
<b>Kuva 15.</b>	<i>Toiminta-aika akustolla (Netcontrol 2019b)</i> .....	44
<b>Kuva 16.</b>	<i>Automaatiokeskuksen asennuspaikka (Netcontrol 2019b)</i> .....	45
<b>Kuva 17.</b>	<i>TN-S -tasasähköjärjestelmä (SFS 6000-1 2017)</i> .....	53
<b>Kuva 18.</b>	<i>IT-tasasähköjärjestelmä (SFS 6000-1 2017)</i> .....	54
<b>Kuva 19.</b>	<i>Kyselytutkimus - lisälaitteet (Netcontrol 2019b)</i> .....	56
<b>Kuva 20.</b>	<i>Rajauskehyyksen käyttö (SFS-EN 61082-1 2015)</i> .....	57
<b>Kuva 21.</b>	<i>Vaihtosähkösyöttöpiirin esitys (SFS-EN 61082-1 2015)</i> .....	58

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AC	Alternating Current
AGM	Absorbent Glass Matt
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
CENELEC	European Committee for Standardization
DC	Direct Current
DMS	Distribution Management System
EC	European Commission
EDP	Engineering Design Process
EMC	Electro Magnetic Compatibility
EN	European Norms
EU	Euroopan unioni
FAT	Factory Acceptance Test
FELV	Functional Extra Low Voltage
GOOSE	Generic Object Oriented Event
HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	International Protection
I/O	Input / Output
ISO	International Standards Organization
IT	Verkon maadoitustapa
LV	Low Voltage
MMJ	Muovieristeinen asennusjohto
MTTR	Mean Time to Repair
MV	Medium Voltage
NIS	Network Information System
PLC	Programmable Logic Controller
PQ	Power Quality
PVC	PolyVinyl Chloride
RMU	Ring Main Unit
RTU	Remote Terminal Unit
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SAT	Site Acceptance Test
SCADA	Supervisory, Control and Data Acquisition
SCL	System Configuration Language
SELV	Safety Extra Low Voltage
SFS	Suomen standardisoimisliitto
SSH	Secure Shell
TCP-IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TN-S	Verkon maadoitustapa
V	Voltti, jännitteen yksikkö
VPN	Virtual Private Network
W	Watti, tehon yksikkö
WebGUI	Web based Graphical User Interface
XML	Extensible Markup Language

# 1. JOHDANTO

Maailman energiantuotanto on pääosin perustunut tähän päivään asti uusiutumattomiin fossiilisiin polttoaineisiin. Uusiutumattomilla luonnonvaroilla tuotetaan tälläkin hetkellä suurin osa maailmalla käytettävästä sähköenergiasta. Fossiilisten polttoaineiden käyttö on osaltaan vauhdittanut ilmastonmuutosta, joka on tällä hetkellä globaali ongelma. Torjuakseen näitä ongelmia Euroopan unioni on asettanut jäsenmaille erilaisia energia- ja ilmastotavoitteita. Tavoitteet tähtäävät siihen, että vuoteen 2020 mennessä 20 % Euroopan unionin energian tarpeesta tuotetaan uusiutuvilla energiamuodoilla, energiatehokkuutta parannetaan 20 % vuoteen 2020 mennessä ja kasvihuonekaasujen määrää vähennetään 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. (EC 2009a, 2009b)

Suurimpia haasteita energia-alalla ovat tällä hetkellä uusiutuvan energian sekä hajautetun energian tuotannon liittämiseen tarvittavien rajapintojen puuttuminen, alueelliset siirtokapasiteettiongelmat ja hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen. Tavoitteiden saavuttamiseksi ja haasteiden ratkaisemiseksi energiajärjestelmien sähköntuotanto pitää perustua uusiutuviin energialähteisiin, joita liitetään verkkoon eri jännitetasoissa. Kaksisuuntaisen tehonsiirron pitää olla mahdollista kaikilla jännitetasoilla ja energiavarastoja pitää hyödyntää tehokkaammin kaikilla verkon jännitetasoilla. Myös energiatehokkuutta pitää parantaa ja energiankulutuksen valvontaa ja mahdollisuutta tasata kulutushuippuja pitää kehittää edelleen.

Edellä mainittujen tavoitteiden saavuttamiseksi automaatioastetta on kasvatettava energiajärjestelmissä, sähköverkossa ja tiedonsiirtoverkoissa merkittävästi. Sähköverkon osalta on valvottava ja mitattava jokaista sähkökäyttäjää sekä verkon solmupistettä, jotta saadaan mahdollisimman tarkka kuva sähköverkon tilasta ja mahdollisimman isosta osasta sähköverkkoa. Tehonsiirron lisäksi myös tiedonsiirron on oltava kaksisuuntaista verkon jokaisella jännitetasolla. Sähköverkon pitää myös toimia osin itsenäisesti ja itseään korjaavasti, mikä mahdollistetaan automaatioasteen kasvattamisella. Sähköverkon automatisointi kasvattaa sähköntoimitusvarmuutta, josta on myös määrätty sähkömarkkinalaissa. (Elovaara & Haarla 2011)

## 1.1 Diplomityön tavoite

Sähköverkon automaatiolla tarkoitetaan muun muassa sähköasema-automaatiota, muuntamoautomaatiota ja kaukokäytön ala-asema-automaatiota. Tässä diplomityössä selvitetään keskijänniteverkon muuntamoille suunnitellun kaukokäytön ala-asema-automaatio -tuotteen osalta lainsäädäntöön ja standardeihin perustuvia vaatimuksia kirjallisuustutkimuksena. Lait ja standardit toimivat toimivat ala-aseman keskuskaapin suunnittelun perustana, mikä on yksi osa koko tuotekehitysprojektia.

Työssä käydään myös läpi tiettyjen markkina-alueiden loppuasiakkaiden esittämiä teknisiä ja toiminnallisia vaatimuksia kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmin kyseiselle keskijänniteverkon automaatiotuotteelle. Diplomityön puitteissa on toteutettu markkinatutkimus, jonka avulla on kartoitettu loppuasiakkaiden vaatimuksia. Markkinatutkimus (Netcontrol 2019b) toteutettiin verkossa kyselytutkimuksena.

Tämä diplomityö tehdään Netcontrol Oy:lle ja se on osa tuotekehitysprojektia. Uudelle tuotteelle on tärkeää saada selkeä standardien mukainen, sekä lait ja viranomaisten asetukset täyttävä dokumentaatio, joka myös todentaa itse tuotteen standardien mukaisuuden, sekä täyttää lakien asettamat vaatimukset.

Tässä diplomityössä selvitetään ja käsitellään kaukokäytön ala-asema-automaatio -tuotteen osalta sovellettavia lakeja ja liitântäarvojen, käyttöympäristön, rakenteen ja suorituskyvyn standardien mukaisia vaatimuksia, sekä näiden tarkastamiseen ja testaamiseen liittyviä vaatimuksia.

Diplomityön tavoitteena on suunnitella standardien ja lakien vaatimukset täyttävä lopputuote, sekä lopputuotteelle standardien ja lakien vaatima tuotedokumentaatio. Tavoitteena on myös soveltaa vaadittavia standardeja siten, että lopputuote täyttää mahdollisimman monen markkina-alueen, sekä loppuasiakkaan tekniset vaatimukset.

## 1.2 Netcontrol-yhtiö

Netcontrol on kansainvälinen yhtiö, joka toimii energia-alalla. Yhtiön asiakaskuntaan kuuluvat muun muassa energiayhtiöt, energiantuottajat, sähköverkkoyhtiöt, urakoitsijayhtiöt ja energiaintensiivinen teollisuus sekä raideliikenteen yhtiöt.

Netcontrol tarjoaa asiakkailleen ratkaisuja ja palveluita sähköasema- ja jakeluverkkoautomaatioon, sekä tietoliikenteeseen, valvomoympäristöihin ja sähköverkon mittaukseen ja monitorointiin. Netcontrolin tuoteportfolio sisältää kaukokäytön ala-asemat, kytkimet, moottoriohjaimet, radiomodeemit, sekä SCADA-järjestelmät ja pilvipalvelut sähkölaadun mittaukseen ja analysointiin.

Netcontrol on alunperin suomalainen yritys, joka on perustettu vuonna 1991. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Helsingissä. Tytäryhtiöiden toimipisteet sijaitsevat Isossa-Britanniassa, Latviassa, Norjassa ja Ruotsissa.

Yhtiön liikevaihto vuonna 2018 oli 18,8 miljoonaa euroa. Yhtiö noudattaa ISO9001:2015 sertifioitua laatuja järjestelmää, sekä ISO14001:2015 sertifioitua ympäristöjärjestelmää.

Netcontrolin järjestelmiä ja tuotteita on toimitettu ympäri maailman. Yhtiön tavoitteena on tarjota ja toimittaa asiakkaille korkean laadun palveluita ja tuotteita. (Netcontrol 2019a)

## 2. SÄHKÖNJAKELUN TOIMITUSVARMUUS

Palveluliiketoiminnan kehittymismahdollisuudet sähköverkkoliiketoiminnassa - raportissa (Partanen et al. 2005) on tutkittu sähköverkkoliiketoiminnan mahdollisuuksia ja kehitystrendejä. Raportissa on pohdittu muun muassa haasteita ja mahdollisuuksia eri sidosryhmien näkökulmasta.

Partanen et al. (2005) toteavat raportissaan kehittymismahdollisuuksista, että tulevaisuuden sähköverkkoliiketoimintaa muokkaavat tulevaisuudessa eri tekijät. Luotettavan sähkönjakelun merkitys kasvaa ja asiakkaat odottavat varmempaa sähköenergian toimitusta.

Regulaatio asettaa velvoitteita sähköverkkoyhtiöille sekä tehokkuuteen, että sähkön laatuun liittyen. Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi lainsäädäntöä ja vaatimuksia sähköverkon kehittämisestä ja erilaisia toimintatapoja kehittämisen toteuttamiseksi.

### 2.1 Lainsäädäntö

Vuonna 2013 voimaan tulleen sähkömarkkinalain (588/2013) tavoitteena on varmistaa edellytykset tehokkaalle ja kestäväälle sähkömarkkinalle. Tärkeä osa tätä on muun muassa sähkön toimitusvarmuus asiakkaille, toimitusvarmuuden turvaaminen ja tämän kokonaisuuden kehittäminen.

Sähkömarkkinalain 19. pykälässä on määritelty, että sähköverkkoa on suunniteltava ja rakennettava siten, että sähkösiirron ja sähkön jakelun tekninen laatu on hyvä. Määrittelyn mukaan sähköverkko ja sen palvelut pitää toimia luotettavasti, vaikka niihin kohdistuu normaaleja odotettavissa olevia häiriöitä esimerkiksi ilmastollisista syistä. Sähköverkko pitää voida myös liittää yhteen toisen sähköverkon kanssa, eli sen pitää olla yhteensopiva sähköjärjestelmän kanssa. Sähköverkkoon pitää voida liittää vaatimukset täyttäviä käyttöpaikkoja, sekä sähköä tuottavia voimalaitoksia.

Kaikkien näiden sähkömarkkinalain edellyttämien vaatimuksien täyttämiseksi sähköverkonhaltijan on mitattava muun muassa sähköverkon jännitettä ja virtaa laadun ja yhteensopivuuden varmistamiseksi. Mittaamisen avulla varmistetaan verkon luotettava toiminta myös häiriötilanteiden aikana. Mittaustietojen perusteella tehdyllä tietojen analysoinnilla voidaan myös nopeuttaa verkon

korjaamista ja löytää vikaantuneita verkon osia ja korjata ne tehokkaammin. (Sähkömarkkinalaki 588/2013)

## 2.2 Sähköverkon kehittäminen

Sähkön toimitusvarmuuden edellytyksenä on sähköverkon jatkuva kehittäminen, sekä verkon käyttäjien, eli asiakkaiden vaatimusten täyttyminen. Suomessa sähköverkon kehittämistä valvoo Energiavirasto. Energiavirasto on lupa- ja valvontaviranomainen, joka toimeenpanee kansallista ja eurooppalaista energia- ja ilmastopolitiikkaa. Energiaviraston tavoitteena on edistää tämän diplomityön johdantoluvussa mainittujen ilmastotavoitteiden kustannustehokasta toteutumista ja koko energiamarkkinan tehokasta toimintaa.

Energiavirasto valvoo ja pyrkii edistämään Suomen sähkömarkkinoiden toimintaa, energiatehokkuutta, päästöjen vähentämistä ja uusiutuvan energian käyttöä. Sähköverkonhaltijat raportoivat Energiavirastoille vuosittain tekniset tunnusluvut, joiden perusteella muodostetaan tilannekuvaa sähköverkonhaltijoista ja toteutuneesta sähkön toimitusvarmuudesta. Energiavirastolle toimitetut tekniset tunnusluvut ovat julkisia tietoja, jotka sisältävät muun muassa asiakkaiden lukumääriä ja siirretyn energian määrät, keskeytystilastoja, sekä tietoa verkkoon kohdennetuista investoinneista. (Energiavirasto 2019)

Sähköverkon kehittämisvelvollisuutta on täydennetty sähkönjakelun laatuvaatimuksilla. Laatuvaatimuksien mukaan sähkönjakelu ei saa keskeytyä asemakaava-alueella esimerkiksi lumikuorman tai myrskyn seurauksena yli kuudeksi tunniksi, eikä asemakaava-alueen ulkopuolella yli 36:ksi tunniksi. Jakeluverkkoyhtiöiden pitää verkon kehittämisvelvollisuuden nojalla laatia kehittämissuunnitelmat, jotka sisältävät toimenpiteet laatuvaatimusten täyttämiseksi. Laatuvaatimusten pitää täytyä vuoden 2028 loppuun mennessä.

Verkonhaltijat voivat hakea aikataululle lisäaikaa, perusteena esimerkiksi erityisen suuret investoinnit. Lisäaikaa on myönnetty vuoteen 2032, tai 2036 saakka. Energiavirasto on määrännyt sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmasta ja suunnitelman toimittamisesta Energiavirastolle sähkömarkkinalain (588/2013) 52. pykälän neljännen momentin nojalla. (Energiavirasto 2014)

Energiaviraston määräyksen toisen pykälän nojalla sähkönjakeluverkon haltija toimittaa Energiaviraston valvontatietojärjestelmään sähkönjakeluverkon

kehittämissuunnitelman strategiset lähtökohdat ja selvityksen sähköjakeluverkon nykytilasta. Lisäksi sähköjakeluverkon laatuvaatimusten täyttymisestä toimitetaan pitkän aikavälin suunnitelma, lyhyen tähtäimen suunnitelma ja selvitys kahden edellisen vuoden aikana tehdyistä toimenpiteistä laatuvaatimusten täyttymiseksi. (Energiavirasto 2014)

Energiaviraston laatiman verkon kehityssuunnitelmasta annetun määräyksen tulkintaohjeen perusteella kehityssuunnitelmassa esitetään strategiset valinnat ja yksityiskohtaiset toimenpiteet, joilla parannetaan sähköjakeluverkon luotettavuutta ja toimitusvarmuutta niin, että verkko täyttää sähkömarkkinalain pykälissä 51 ja 119 säädetyt vaatimukset. Energiaviraston laatiman tulkintaohjeen mukaan verkon kehittämissuunnitelmassa pitää kiinnittää huomiota sähkön käyttöpaikkojen sähkösaannin varmistamiseen, missä sijaitsee palveluita ja toimintoja, jotka ovat tärkeitä yhteiskunnan johtamisen, tai turvallisuuden, elinkeinoelämän toimintakyvyn tai väestön toimeentulon kannalta. (Energiavirasto 2018)

## **2.3 Toteutustavat verkon kehittämiseksi**

Energiavirasto on arvioinut, että sähkön toimitusvarmuuden parantaminen, sekä ylläpito vaativat tulevaisuudessa merkittäviä investointeja sähköverkkoon. Tämän hetkisen toimitusvarmuuden ylläpitämiseksi arvio vaadituista investoinneista on noin 60 % sähköverkkoon kohdistettavista investoinneista (Energiavirasto, 2019).

VTT:n tiedotteessa Verkkovisio 2030 (2006) on luotu erilaisia skenaarioita sähköverkon muutoksista sekä tutkittu kansainvälisesti käytössä olevia tekniikoita toimitusvarmuuden parantamiseksi. Tutkimuksessa on myös selvitetty ja esitetty visioita tulevaisuuden tekniikoista verkon kehittämiseksi.

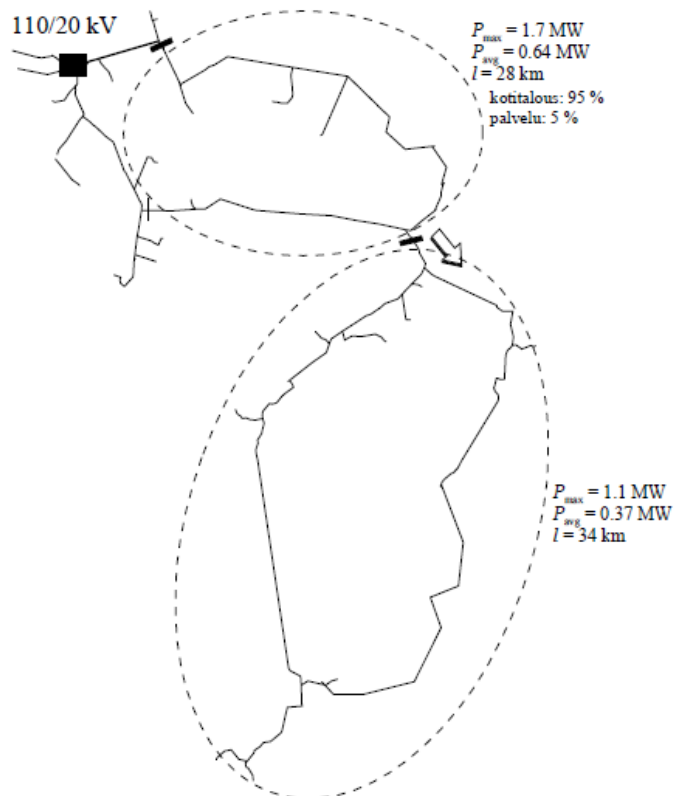
Seuraavissa alaluvuissa käsitellään sähköverkon kehittämisen toteutustapoja, joihin investoimalla sähköverkonhaltijat voivat lisätä sähkön toimitusvarmuutta sähköjakeluverkossa. Luvuissa käsitellään myös sähköverkon kehittämiseen liittyviä haasteita.

### **2.3.1 Verkostoautomaatio**

Termistä verkostoautomaatio käytetään myös nimiä jakeluverkkoautomaatio ja muuntamoautomaatio. Sillä tarkoitetaan keskijänniteverkossa muualle kuin

sähköasemille sijoitettua automaatiota. Sijoittamalla tiettyihin paikkoihin jakeluverkkoa kauko-ohjattuja katkaisijoita, jotka on varustettu suojarleillä, pystytään pienentämään asiakkaiden kokemien keskeytysten määrää, sekä niiden kokonaiskestoja (VTT 2006). Tällaista toteutusta kutsutaan vyöhykesuojaukseksi, joka on yksi osa verkostoautomaatiota.

Kuvassa 1 esitetään miten verkko on jaettu kahteen eri suojausvyöhykkeeseen keskelle verkkoa sijoitetun katkaisijan avulla. Hyöty riippuu verkkokatkaisijan jälkeen olevan vyöhykkeen sisältämästä verkon pituudesta sekä ennen verkkokatkaisijaa olevan vyöhykkeen asiakkaiden määrästä. Vian sattuessa katkaisijan jälkeisessä vyöhykkeessä katkaisijan ja suojarleistyksen avulla erotetaan vikaantunut verkon osa muusta verkosta automaattisesti, jolloin ennen katkaisijaa olevassa vyöhykkeessä sähkön jakelu jatkuu normaalisti. Tämä edellyttää, että suojaus on toteutettu selektiivisesti kuvassa 1 näkyvän 110/20 kV:n sähköaseman johtolähdön suojauksen kanssa, mikä syöttää kyseistä verkon osaa.



**Kuva 1.** Vyöhykesuojaus jakeluverkossa (VTT 2006)

Verkostoautomaation avulla voidaan parantaa verkon toimitusvarmuutta myös jakamalla ilmajohtoverkon haaroja omiksi suojausvyöhykkeiksi esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, jossa vaikea maasto tai vesistö estävät verkon maakaapeloinnin. Tällaiset verkostoautomaatoratkaisut esimerkiksi maaseudun ilmajohtohaaroilla ovat lisäksi nopeampia ja kustannustehokkaampia rakentaa verrattuna saman verkon osan maakaapelointiin, joka tekee verkostoautomaatoratkaisuista perusteltuja vaihtoehtoja toimitusvarmuuden parantamiseksi (Ensto 2019).

### **2.3.2 Maakaapelointi**

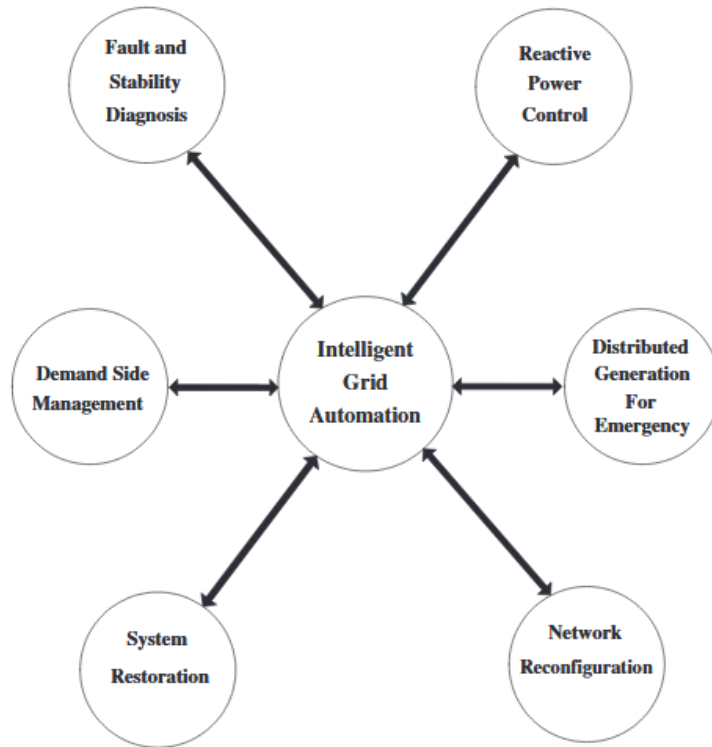
Kaapelointiasteen kasvattamisella, eli muuttamalla vanhat ilmalinjat maakaapeleiksi saavutetaan parempi verkon käyttövarmuus. Kaapeloinnilla saavutettu käyttövarmuus korostuu mahdollisissa myrskyn aiheuttamissa suurhäiriöissä, sen ollessa käytännössä ainoa tapa ehkäistä avojohtoverkoissa aiheutuneet laajat ja pitkäkestoiset jakelukeskeytykset. (VTT 2006)

Maakaapeloinnin aiheuttamia haasteita ovat muun muassa kaapelien korkea hinta. Kaapelien kaivaminen maahan on myös hidasta, mikä edelleen lisää kustannuksia. Sähköverkkoyhtiöt käyttävätkin kaapelien maahan kaivuun sijasta aurausmenetelmää, jossa maata jyrsimällä tehdään kaapelille ura. Aurauslaitteen avulla voidaan myös lisätä uraan hiekka sekä kaapelien varoitusverkko. Tämä nopeuttaa kaapelien kaivuuprosessia. (Caruna 2006)

### **2.3.3 Smart Grid -konsepti**

Smart Grid, eli älykäs sähköverkko käsitteenä ei vielä nykyiselläänkään ole selkeä vakiintunut termi. Eri instituutiot ja tahot saattavat kuvata ja käyttää konseptia eri tavoin.

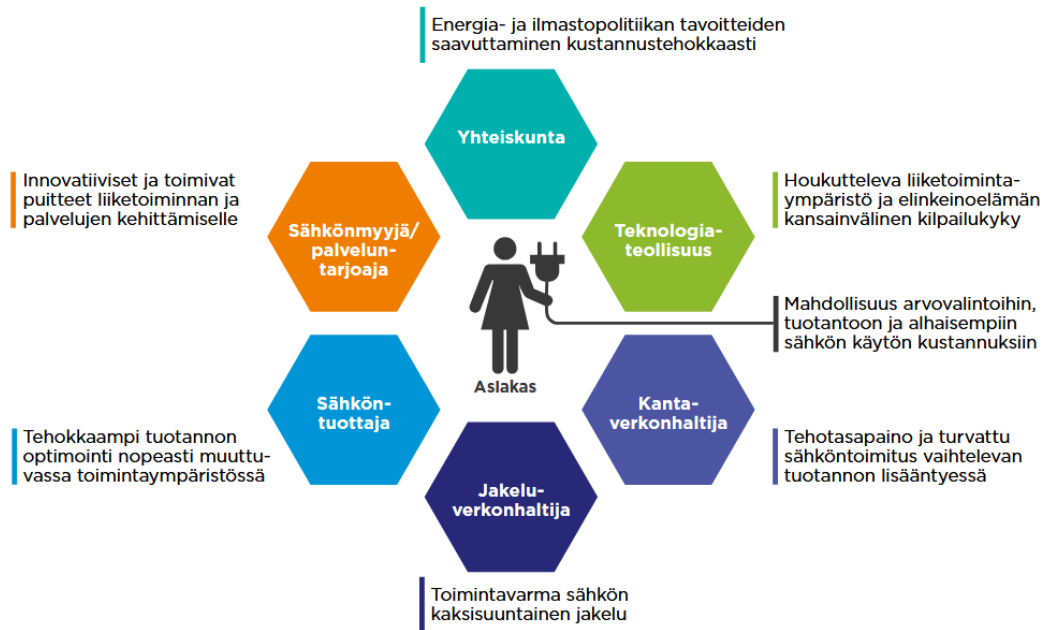
IEEE:n (2010) mukaan Smart Grid -konseptissa yhdistetään energiainfrastruktuuri ja siihen kuuluvat prosessit ja laitteet, verkosta saatava tieto ja energiamarkkina siten, että energiaa voidaan tuottaa, siirtää ja kuluttaa tehokkaammin. Tämä toteutetaan muun muassa automaattisella verkon ohjauksella, mikä perustuu verkosta kerättävään tietoon ja sen käsittelyyn ja eri tietojärjestelmien väliseen kommunikaatioon, kuten kuvassa 2 on esitetty. Keskipisteessä on älykäs järjestelmä, jonka kautta yhdistyvät loistehon kompensointi, hajautettu energian tuotanto, sähköverkon uudelleen konfigurointi ja palautus, kysyntäjousto, sekä vikadiagnostiikka.



**Kuva 2.** Automatisoidut toiminnot Smart Grid -konseptissa (IEEE 2010).

Fingrid (2019) määrittelee Smart Grid:n älykkääksi, digitalisaatiota hyödyntäväksi sähköjärjestelmäksi, joka parantaa sähkön toimitusvarmuutta, lisää asiakkaiden mahdollisuuksia osallistua sähkömarkkinoille, sekä luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Älyn avulla sähköjärjestelmä sopeutuu vaihtelevaan sähköenergian tuotantoon, mitä aiheutuu esimerkiksi sään vaihteluista uusiutuvilla energiamuodoilla. Älyn avulla sähköverkosta saadaan myös entistä tarkempaa, ja lähes reaaliaikaista tietoa sähkön kulutuksesta ja sen tuotannosta, mikä edesauttaa tehotasapainon hallintaa ja sähkön toimitusvarmuuden ylläpitoa.

Suomessa työ- ja elinkeinoministeriö (2018) on asettanut työryhmän selvittämään asiakkaiden osallistumista sähkömarkkinoille ja toimitusvarmuuden ylläpitoa älykkään sähköverkon avulla. Työryhmän tehtävänä oli luoda muun muassa visio älykkäästä sähköverkosta. Visiossa älykäs sähköjärjestelmä toimii palvelualustana, jossa asiakas on keskiössä (kuva 3). Asiakkaan ympäriltä löytyvät sähkömarkkinaan osallistuvat ja vaikuttavat muut toimijat, kuten sähköenergian tuottajat ja myyjät, verkon haltijat, sekä teollisuus ja yhteiskunta.



**Kuva 3.** Älyverkkovisio (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018)

Cenelec:n (2019) mukaan Smart Grid on älykäs sähköverkko, joka yhdistää kustannustehokkaasti kaikki sähköverkon toiminnot ja eri toimijat, kuten tuotannon ja kuluttajat. Smart Gridin tarkoituksena on varmistaa taloudellisesti tehokas ja kestävä energijärjestelmä, jolla taataan korkea sähkön laatu ja sähkön toimitusvarmuus, sekä sähköjärjestelmän turvallisuus.

### 3. KESKIJÄNNITEVERKON AUTOMAATIO

Sähköverkon käyttö on tähän asti perustunut suureksi osaksi verkon mittauksiin, ohjauksiin ja valvontaan, mitkä on toteutettu kaukokäyttöyhteydellä sähköverkkoyhtiön valvomosta. Joitakin toimenpiteitä, kuten osaa relesuojauksesta hoitaa myös sähköasemien paikallinen automaatio.

Maakaapeloinnin ollessa tehokas tapa parantaa verkon toimitusvarmuutta, se on myös muihin edellä esiteltyihin vaihtoehtoihin verrattuna yksinkertaisin tapa alentaa SAIFI-arvoa (engl. System Average Interruption Frequency Index). SAIFI-arvo kuvaa sähköjärjestelmän keskimääräistä keskeytystaajuutta.

Verkostoautomaatiolla ja verkon kaukokäytöllä pyritään vaikuttamaan alentavasti sähköjärjestelmän keskimääräiseen vian kestoon, mitä kuvataan SAIDI-arvolla (engl. System Average Interruption Duration Index), ja asiakkaiden kokemaan keskimääräiseen vian kestoon (CAIDI). (Siirto 2016)

Kaavoissa (1), (2) ja (3) on annettu kyseisten arvojen matemaattinen esitys, missä  $N_i$  on häiriön tai vian piirissä olevien asiakkaiden määrä,  $N_T$  on jakelualueen asiakkaiden kokonaismäärä ja  $r_i$  on palautumisaika häiriöstä. (IEEE 2012)

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (2)$$

$$CAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{\sum N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3)$$

Aktiivinen sähköverkon valvonta koostuu useista eri osista ja järjestelmistä. Seuraavissa luvuissa käydään läpi muutamia perusteita liittyen sähköverkon valvontaan ja ohjaukseen. Kappaleen lopussa esitellään nykyaikaisempaa teknologiaa sähköverkon valvonnan ja ohjauksen toteutuksista sähköverkon eri jännitetasoilla sijaitsevilla automaatiojärjestelmillä.

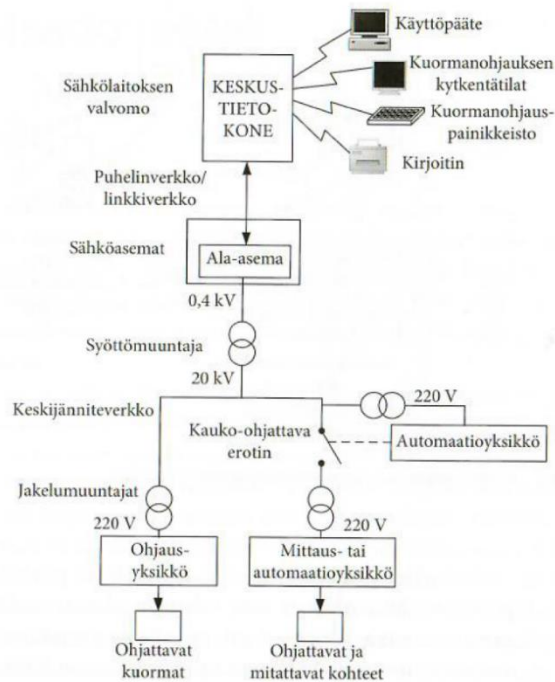
### 3.1 Kaukokäyttö

Sähköverkon kaukokäytöllä tarkoitetaan keskitetysti tapahtuvaa sähköverkon ohjausta ja valvontaa. Kaukokäyttötoimintoihin luetaan kytkinlaitteiden kauko-ohjaus, -mittaus, -asettelu, -säätö ja erilaiset ilmoitukset ja hälytykset verkosta. Kaukokäyttöön liittyy myös tiedon tallennusta, laskentaa ja raportointia. (Elovaara & Laiho 1988)

Kaukokäyttöjärjestelmä toimii reaaliaikaisesti siten, että verkon käyttäjä on jatkuvasti tietoinen prosessin tilasta. Osia kaukokäyttötoiminnoista voidaan toteuttaa myös automaattisesti. Kaukokäyttöjärjestelmä koostuu keskusasemasta, joka sijaitsee esimerkiksi verkon valvomotilassa ja kaukokäytön ala-asemasta, joka sijaitsee sähköasemalla, sekä näitä yhdistävästä siirtotiestä. Kuvassa 4 on esitetty kaukokäyttöjärjestelän lohkokaavio, joka kuvaa koko järjestelmän valvomon käyttöpäätteeltä sähköverkon etäohjattaville kytkinlaitteille. (Elovaara & Laiho 1988)

Kaukokäyttöjärjestelmissä siirrettävä tieto voidaan jakaa ohjauksiin, mittauksiin, hälytyksiin ja ilmoituksiin. Ohjaukaskäskyjä ovat esimerkiksi erottimien ja katkaisijoiden ohjaukset. Mittaustiedot ovat analogisia, kuten johtojen virrat, jännitteet, teho ja taajuus, tai diskreettejä, kuten toimintakertalaskurit ja energiamittareiden impulssilaskurit.

Hälytykset ovat binäärisiä informaatioita, jotka ilmoittavat esimerkiksi sähköverkossa olevista vioista, tai laitteiden itsevalvontaa, mikä kertoo laitteiden toimintahäiriöistä. Ilmoituksia ovat muun muassa kytkinlaitteiden asennonosoitus ja erilaiset tilatiedot. (Elovaara & Laiho 1988)



**Kuva 4.** Kaukokäyttöjärjestelmän lohkokaavio (Elovaara & Haarla 2011)

Kaukokäyttö terminä kattaa sähköverkon keskitetyn ohjauksen ja valvonnan, joka pitää sisällään myös mittauksen, säädön ja asettelut. Kaukokäytön avulla parannetaan sähköverkon toimitusvarmuutta, pienennetään häiriöiden kestoajoja ja voidaan säästää henkilöstömenoissa, kun verkkoa voidaan ohjata kaukokäyttöyhteydellä sähköverkkoyhtiön valvomosta. (Elovaara & Haarla 2011)

Verkon käyttötehtäviin kuuluu verkon valvonta ja ohjaus. Näillä toimenpiteillä hallitaan koko energian siirto- ja jakeluprosessia, eli ylläpidetään tuotetun ja kulutetun sähköenergian tasapainoa. Verkkossa tapahtuvaa sähkön siirtoa ohjataan siten, että se tapahtuu mahdollisimman taloudellisesti ja käyttövarmasti. Tämän toteuttamiseksi vaaditaan erilaisia järjestelmiä ja tiedon keräämistä niihin. Kerättävä tieto muodostuu muun muassa verkon eri osien jännitteistä ja johtojen virroista ja tehoista, sekä kytkinlaitteiden asentotiedoista esimerkiksi sähköasemilla. Tällaista tiedonkeruujärjestelmää kutsutaan SCADA-järjestelmäksi ja ne sijaitsevat fyysisesti verkon valvomotiloissa. (Elovaara & Haarla 2011)

Ala-asemat ovat väylärakenteisia, mikroprosessoripohjaisia laitteita, jotka keräävät sähköasemilta asento-, hälytys- ja mittautustietoja tallentavat ne

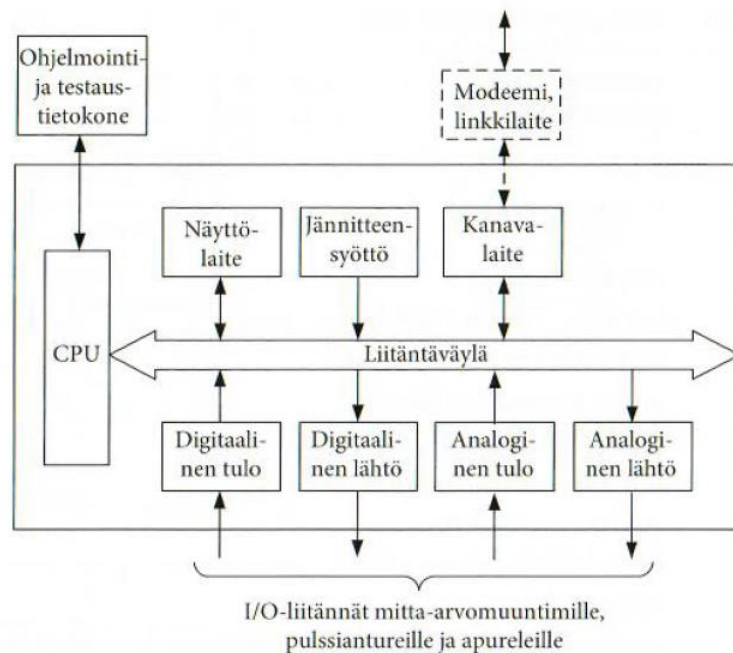
lähetettäväksi SCADA-järjestelmälle ja välittävät ohjaukaskäskyjä SCADA-järjestelmästä esimerkiksi sähköasemien erottimille. Ala-aseman tehtävänä on myös sovittaa prosessisignaalit tulo- ja lähtöliityntöjen välillä. (Elovaara & Haarla 2011)

### 3.2 Sähköasema-automaatio

Sähköasema on siirto- tai jakeluverkon kohta, missä voidaan tehdä sähköverkon kytkentöjä, jakaa sähköä eri johdoille ja muuntaa jännitettä eri tasoille. Sähköasemat sisältävät muuntajia, kiskostoja ja erilaisia kojeita ja laitteita. Näistä tärkeimpiä ovat katkaisijat, erottimet ja mittalaitteet, suojaukseen käytettävät releet, varokkeet ja ylijännitesuojat. Nämä ovat osa voimajärjestelmää. (Elovaara & Laiho 1988)

Sähköaseman automaatiojärjestelmä mahdollistaa pääsyn voimajärjestelmään, joko paikallisesti tai kaukokäyttöjärjestelmän kautta. Automaatiojärjestelmän avulla voidaan toteuttaa verkon automaattisia ja manuaalisia toimenpiteitä, kuten kytkinlaitteiden ohjausta. Sähköaseman automaatiojärjestelmässä määritellään käytettävä tiedonsiirtotapa, erilaiset liitynnät ja tiedon koodaaminen tai konvertointi eri järjestelmien hyväksymään muotoon. Näin onnistuu kommunikointi esimerkiksi sähköverkon valvomon ja voimajärjestelmän paikallisten kytkinlaitteiden välillä.

Jokaiselle kytkinlaitteelle voi olla sähköasemalla varattuna oma kenttäkohtainen laitekaappi tai kenno, jonne on asennettu kenttäkohtainen suojarle. Kenttäkohtaisten tietojen avulla toteutaan kyseisen kentän kytkinlaitteen ohjaus, mahdollinen jännitteen säätö ja loistehon tuotannon ohjaus, kentän suojaustoiminnot, häiriötallennus ja tapahtumalokien tallennus. Nämä tiedot siirretään kenttäkohtaisesti eteenpäin kaukokäytön ala-asemalle, eli RTU:lle (engl. Remote Terminal Unit). Kuvassa 5 on esitetty kaukokäytön ala-asema -laitteen toimintaperiaate. Ala-asema -laitteessa tehdään esimerkiksi aiemmin mainittu tiedon protokollakonvertointi ja tämä konvertoitu tieto lähetetään edelleen SCADA-järjestelmälle verkkovalvomoon. Ala-asema -laite voi myös sisältää digitaali ja analogia sisään- ja ulostuloja, joihin voidaan kytkeä kenttäkohtaisia asento- ja mittaustietoja.



**Kuva 5.** Kaukokäytön ala-aseman periaatekuva (Elovaara & Haarla 2011)

Nykyaikaisen sähköaseman automaatiojärjestelmä voi olla aiempaa hajautetumpi ja sillä huolehditaan aseman hallintaan liittyvistä toiminnoista. Automaatiojärjestelmä on mikroprosessoripohjaisten laitteiden muodostama verkko, jolla toteutetaan kerättävän tiedon digitaalinen käsittely ja prosessointi.

Tiedon digitalisoinnin myötä kerättävä data saadaan tarkempaan ja se säilyy vääristymättömänä. Digitaalisen tiedon siirtäminen on yksinkertaista. Jatkuvasti kasvava prosessori- ja muistikapasiteetti mahdollistaa entistä raskaampien ja monimutkaisempien toimintojen suorittamisen. Tämä tarkoittaa myös sitä, että osa tarkastus- ja valvontatöistä voidaan kokonaan automatisoida. Automatisointi parantaa ja helpottaa käytettävyyttä ja esimerkiksi laitteiden itsevalvonnan avulla osa vioista havaitaan jo alkamisvaiheessa, mikä parantaa toimintavarmuutta.

Tämän kaltainen digitalisointi on johtanut siihen, että sähköasemien suunnittelu vaatii osaamista myös erilaisista tietoliikennejärjestelmistä. Digitalisoinnin tuomia muita haasteita ovat muun muassa laitteiden ohjelmistoversioiden kehittyminen ja vaihtuminen jatkuvasti.

Sähköaseman digitaalinen automaatiojärjestelmä kerää suuren määrän tietoa ja myös varastoi sitä. Tämä tieto koostuu itse aseman ja sen laitteiden tilasta, sekä ympäröivän sähkö- ja tietoliikenneverkon tilasta. Automaatiojärjestelmä huolehtii myös, että laitteet toimivat reaaliajassa, sillä eri tapahtumien aikaleimauksen

pitää olla vertailukelpoisia, että tilannetta pystytään esimerkiksi jälkikäteen analysoimaan. Ajan synkronointi eri laitteiden ja järjestelmien välillä on toteutettu esimerkiksi GPS-järjestelmän avulla. (Elovaara & Haarla 2011)

### 3.2.1 Relesuojausjärjestelmät

Relesuojausjärjestelmät ovat nykyään osa sähköasemien automaatiojärjestelmää. Relesuojaus on yksi kriittisimmistä sähköverkon toiminnoista. Sähköverkon suojauksen hoitaa kokonaisuus, joka sisältää mittamuuntajat ja -sensorit, suojareleet ja suurjännitekatkaisijat. Suojauskokonaisuuden tarkoituksena on havaita sähköverkon viat ja epätavalliset olosuhteet sähköverkossa ja erottaa vikaantunut verkon osa muusta sähköjärjestelmästä. Jos vikaantunutta verkon osaa ei kyetä erottamaan muusta verkosta, se voi aiheuttaa vaaraa ihmisille ja omaisuudelle, sekä aiheuttaa laiterikkoja.

Nykyaikaisilla automaatiojärjestelmillä voitaisiin toteuttaa verkon säätö- ja suojausjärjestelmien yhdistäminen, esimerkiksi releasettelujen automaattinen mukautuminen kytkentätilan ja kuormitustason mukaan. Järjestelmä voisi ottaa myös huomioon myös ulkoiset olosuhteet ja niihin liittyvät oletukset ja marginaalit.

Viime vuosina tekniikan kehitys on mahdollistanut sähköasema-automaation integroimisen osaksi kaukokäytön ala-asemaa. Tyypillisiä integraation kohtia on sähköaseman paikallisvalvonnan, sähköaseman ohjauksen ja sähköaseman kaukokäytön yhdistäminen (Elovaara & Haarla 2011)

Ääripää vastaavasta järjestelmien yhdistämisestä olisi keskitetty suojausjärjestelmä jossa toteutetaan asemakohtaiset verkon suojaustoiminnot yhdessä laitteessa. Näin toteutettu järjestelmä olisi huolto- ja hankintahinnaltaan tietyissä tilanteissa edullisempi, kun erillisten suojareleiden määrä pienenee oleellisesti.

Valtari (2013) on tutkinut väitöskirjassaan keskitetyn suojausjärjestelmän soveltamista osana sähköasemien automaatiojärjestelmiä. Valtari toteaa, että suojareleiden toiminnallinen ikä on käymässä lyhyemmäksi, vaikka itse fyysisen releen elinkaari olisi noin 15 - 20 vuotta.

Keskitetyssä järjestelmässä on perusta uudelle kehitykselle, jossa yhdistetään kenttäkohtaiset laitteet asemakohtaiseen keskitettyyn järjestelmään. Valtarin mukaan tämä voidaan toteuttaa käyttämällä olemassa olevaa IEC 61850 -standardia. Lopputuloksena on mainittu, että sähköasemille joissa on enemmän

kuin viisi johtolähtöä, olisi kannattavaa käyttää keskitettyä asemakohtaista suojausjärjestelmää. Aseman koon kasvaessa, kasvaa myös keskitetyn suojausjärjestelmän kustannustehokkuus. (Valtari 2013)

### **3.2.2 IEC 61850 -standardi**

Tässä luvussa on lyhyesti käsitelty sähköasemilla käytettävien toisilaitteiden kommunikointiin ja yhteensopivuuteen sovellettavaa standardia IEC 61850. Standardi on kehitetty määrittelemään IED-laitteiden (engl. Intelligent Electronic Device) ja releiden liikennöintitavan, toiminnallisuuden, datan rakenteen ja nimeämisen, sekä laitteiden hallinnan ja testauksen. IEC 61850 on kokoelma standardeja.

IEC 61850 -standardin tarjoamia hyötyjä ovat vähentynyt kaapeloinnin tarve, koska dataa siirretään ethernet- ja kuitukaapeleilla. Tämä vähentää kaapelointiin käytettävää työaikaa. Ethernet- ja kuitukaapelin käyttö tarkoittaa nopeampaa liikennöintiä ja toisaalta sillä mahdollistetaan suurien signaalimäärien siirto. Kenttäkohtaiset signaalit siirtyvät IED-laitteilta eteenpäin standardin määrittelemänä GOOSE-viesteinä (engl. Generic Object Oriented Substation Events).

Standardin tarkoituksena on taata yhteensopivuus eri valmistajien laitteiden välillä. Laitteet konfiguroidaan käyttämällä standardin määrittelemää XML-pohjaista SCL-konfigurointikieltä (engl. System Configuration Language). Perinteisesti jokainen IED-laite on pitänyt konfiguroida laitevalmistajan tarjoamalla konguraatiotyökalulla. IEC 61850 -standardi tähtää siihen, että konfigurointityö olisi mahdollista toteuttaa valmistajasta riippumattomilla konfigurointityökaluilla. (Gers & Holmes 2011)

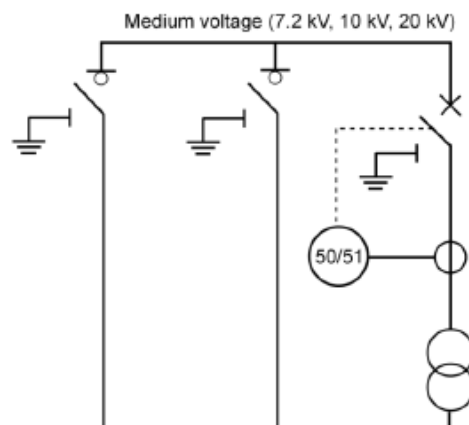
### **3.3 Muuntamoautomaatio**

Perinteisesti jakeluverkon monitorointi, ohjaus ja suojaus on toteutettu sähköasemilla ja verkon tärkeimmissä solmupisteissä. Nykyään sähköverkkoyhtiöt investoivat järjestelmiin, joilla voidaan myös muuntamotasolla toteuttaa verkon monitorointia, ohjausta ja automaattisia toimintoja. Järjestelmät alkavat enenevässä määrin muistuttaa sähköasemien automaatiojärjestelmiä.

Muuntamo on sähköverkon solmukohta sähköaseman ja asiakkaan kulutuspuolelta välillä. Nimensä mukaan muuntamalla muunnetaan jännite

esimerkiksi 20 kV:n keskijännitteestä 0,4 kV:n pienjännitteeksi (ABB 2013). Muuntamot on varustettu jakelumuuntajalla, keskijännitekojeistolla, pienjännitekojeistolla, sekä mahdollisesti näitä ohjaavalla ja monitoroivalla ja mittavaalla automaatiokeskuksella.

Keskijännitekojeistot ovat tyypillisesti SF6-kaasueristeisiä RMU-kojeistoja (engl. Ring Main Unit), eli kompaktkojeistoja. RMU-kojeisto on täysin tiivis ja SF6-eristekaasua käyttämällä kojeiston sisäiset eristevälit on saatu pieneksi, jolloin kojeiston fyysinen koko pystytään pitämään myös pienenä. Keskijännitekojeistoja on myös ilmaeristeisiä malleja.



**Kuva 6.** Muuntamon keskijännitekojeiston pääkaavio (ABB 2013)

Kojeiston johtolähdöissä voidaan käyttää kytkinlaitteena useimmiten kuormaerotinta, katkaisijaa tai varokekuormaerotinta. Nämä kytkinlaitteet voidaan varustaa moottorihajaimilla, jotka liitetään automaatiokeskuksen RTU-laitteeseen. Täten kytkinlaitteita voidaan etäohjata valvomosta käsin. Kuvassa 6 on pienen muuntamon keskijännitekojeiston pääkaavio, missä näkyy vasemmalla kuormaerottimilla ja maadoituserottimilla varustetut syöttävä ja lähtevä johtolähtö. Oikeassa reunassa on muuntajalähtö, joka on varustettu katkaisijalla, sekä muuntajan suojareleellä. (ABB 2013)

Kuvassa 7 on esitetty Siemensin (2017) valmistama RMU-tyyppinen keskijännitekojeisto 8DJH. Kojeisto on SF6-kaasueristeinen ja sen käyttökohteita ovat muun muassa muuntamot julkisessa ja teollisessa energiajärjestelmässä. Kuvassa 7 esitetty kojeisto vastaa kuvan 6 pääkaaviota. Kojeisto voidaan liittää osaksi muuntamoautomaatiojärjestelmää.



**Kuva 7.** Siemens 8DJH -keskijännitekojeisto (Siemens 2017)

Muuntamot on kaupungeissa sijoitettu usein kiinteistöjen sähkötiloihin. Taajaman ulkopuolella muuntamot ovat aiemmin olleet pylväsmuuntamoita, mutta keskijänniteverkon maakaapeloinnin lisääntyä on muuntamot alettu rakentaa maan pinnalle kompakteihin rakenteisiin. Tällaiset kompaktit muuntamot voivat olla joko sisältä tai ulkoa käytettäviä.

Kuvassa 8 on esitetty Harju Elekterin (2019) valmistama HEKA 1 VM 1000-2 muuntamo. Muuntamorakennus on ulkoa käytettävä. Vasemmassa päädyssä on tila keskijännitekojeistolle (kuvassa 8 merkitty MV - Medium Voltage) ja oikeassa reunassa on tila pienjännitekojeistolle (kuvassa 8 merkitty LV - Low Voltage). Keskellä muuntamo on tila jakelumuuntajalle. Tällaisissa muuntamoissa automaatiokeskuskaappi tai RTU-laite voidaan sijoittaa keski- tai pienjännitekojeiston kanssa samaan tilaan. Tämän kaltaisten kompaktien muuntamoiden etuna on tehtaalla esiasennetut johdotukset ja kojeet. Tehtaalla on mahdollista testata myös kojeistojen ja RTU:n välinen paikallinen toiminta, kuten ohjaukset, tilatiedot ja paikallisautomaatio. Edellä mainituilla toimenpiteillä säästetään aikaa kentällä tapahtuvassa asennuksessa ja käyttöönotossa.

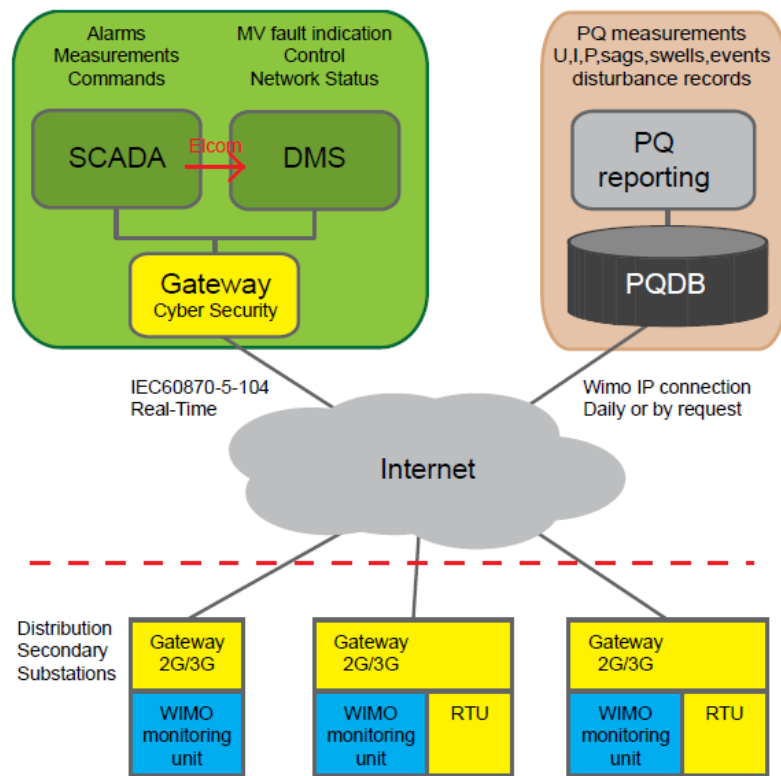


**Kuva 8.** Ulkoa käytettävä HEKA-muuntamo (Harju Elekter 2019)

Kuvassa 9 on esitetty nykyaikaisen muuntamoautomaatiojärjestelmän lohkokaavio. Muuntamoilla RTU-laitteet keräävät kytkinlaitteiden tilatiedot ja niiden avulla suoritetaan myös SCADA:sta lähetetyt kytkinlaitteiden, kuten kuormaerottimien ohjaukset. WIMO-yksiköillä monitoroidaan erilaisia verkon mitta-arvoja, kuten jännitettä, vaihevirtoja ja maasulkuvirtaa. RTU ja WIMO on liitetty 3G-modeemiin, josta on yhteys internettiin.

Signaalit SCADA:n ja muuntamon välillä liikennöivät kaukokäyttöprotokollalla IEC 60870-5-104, joka on TCP-IP -pohjainen (engl. Transmission Control Protocol - Internet Protocol) liikennöinti-protokolla. Kaukokäyttöliikenne voi kulkea suojatussa VPN-tunnelissa (engl. Virtual Private Network), jolla taataan riittävä tietoturva.

Muuntamoilla olevista RTU-laitteista on yhteys myös sähkön laadun monitorointiin ja analysointiin käytettävään PQ-serveriin (engl. Power Quality). RTU ja WIMO, sekä muut nykyaikaiset suoja- ja seurustelut voivat tallentaa sähköverkon vikatilanteita tallenteiksi, sekä mittaustallenteita esimerkiksi jännitteiden ja virtojen 10 minuutin keskiarvomittauksista. Nämä tiedot tallentetaan comtrade-formaatissa ja ne voidaan siirtää PQ-serverille SSH-tunnelissa (engl. Secure Shell).



**Kuva 9.** Muuntamoautomaatiojärjestelmä (Kumpulainen et al. 2011)

Kumpulaisen et al. (2011) mukaan suurimmat muuntamoautomaatiosta saatavat hyödyt ovat käyttäjien kokemien keskeytysten pieneneminen, mikä saavutetaan paremmalla vikatilanteen hallinnalla muuntamoautomaation mahdollistamana. Kokemusten osoittamia hyötyjä ovat myös parempi sähkön laadun hallinta ja parantunut verkko-omaisuuden elinkaaren hallinta. Edellä mainitut hyödyt eivät välttämättä yksinään toimi investoinnin motivaattorina, mutta niiden kaikkien yhdistelmä tarjoaa jo riittävän hyöty-hinta -suhteen investoinnin toteuttamiseksi.

## 4. VAATIMUKSET JA LAIT SÄHKÖLAITTEEN VALMISTUKSESTA

Sähkölaitteen valmistajalla on ensijainen vastuu laitteen vaatimustenmukaisuudesta (Tukes 2017). Tässä kappaleessa on kartoitettu ja käyty läpi Euroopan unionin direktiivejä ja asetuksia, sekä kansallista lainsäädäntöä, joissa on sähkölaitetta koskevia vaatimuksia, ja jotka velvoittavat sähkölaitteen valmistajaa. Kappaleessa tutkitaan myös yhdenmukaistettuja eurooppalaisia standardeja, joissa on esitetty sähkölaitteelta vaaditut tekniset yksityiskohdat.

Seuraavissa kappaleissa termillä valmistaja tarkoitetaan luvussa 5 esiteltävän tuotteen valmistanutta yritystä. Valmistajalla tarkoitetaan Tukes:n (2017) mukaan luonnollista henkilöä tai oikeus-henkilöä, joka valmistaa tai valmistuttaa sähkölaitetta, teettää laitteen suunnittelun ja markkinoi laitetta omalla nimellään tai tavaramerkillään.

### 4.1 Sähköturvallisuuslain asettamat vaatimukset

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 (2016) kuudennessa pykälässä säädetään, että sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava ja valmistettava siten, etteivät ne aiheuta vaaraa kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle, eivät sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheuta kohtuutonta häiriötä, eikä toiminta häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

Lain seitsemännen pykälän mukaan sen, joka tuo markkinoille sähkölaitteen, sekä valmistaa, tai tuo maahan sähkölaitteen, jota ei tuoda markkinoille on voitava näyttää, että kyseinen sähkölaite täyttää kuudennen pykälän vaatimukset. Jos vaatimukset eivät täyty, sähkölaitetta ei saa saattaa markkinoille, ei luovuttaa toiselle, eikä ottaa käyttöön.

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 pykälä 9 - 28 sovelletaan vaihtosähköllä toimiviin sähkölaitteisiin nimellisjännitteellä 50 - 1000 V, ja tasajännitteellä toimiviin sähkölaitteisiin nimellisjännitteellä 75 - 1500 V. Sähköturvallisuuslain 12. pykälän mukaan sähkölaite on suunniteltava ja valmistettava hyvän teknisen käytännön mukaisesti. Tällä taataan, että oikein asennettuna, huollettuna ja käyttötarkoituksensa mukaisesti käytettynä sähkölaite on sähkömagneettisesti yhteensopiva, eikä vaaranna ihmisten terveyttä tai turvallisuutta, kotieläimiä tai

kenenkään omaisuutta. Sähkölaitteen oikeanlainen suojaus pitää varmistaa sähkölaitteen aiheuttamien vaarojen varalta ja sellaisten vaarojen varalta, jotka voivat aiheutua ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta sähkölaitteeseen.

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 pykälän 13 mukaan sähkölaitteen valmistajan on varmistettava ja osoitettava ennen laitteen markkinoille saattamista, että sähkölaite on suunniteltu ja valmistettu pykälän 12 mukaisten turvallisuusvaatimusten sekä sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevien vaatimusten mukaan. Valmistajan pitää suorittaa arviointi vaatimuksen mukaisuudesta sekä laatia dokumentaatio, joka osoittaa vaatimustenmukaisuuden. Laitteen valmistaja laatii EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen ja kiinnittää CE-merkinnän sähkölaitteeseen, kun sen on osoitettu täyttävän sovellettavat vaatimukset.

Dokumentaatio laaditaan suomen kielellä tai toisella kotimaisella, eli ruotsin kielellä, tai jollakin muulla sähköturvallisuusviranomaisen hyväksymällä kielellä. Valmistaja säilyttää sähkölaitetta koskevat asiakirjat kymmenen vuotta sen jälkeen, kun laite on saatettu markkinoille.

Valtioneuvoston asetuksessa sähkölaitteiden turvallisuudesta (Tukes 2016) on säädetty, että EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen pitää noudattaa pienjännitedirektiivin 2014/35/EU liitteessä IV (EU 2014) esitettyä rakennetta. Pienjännitedirektiiviä on käsitelty lisää kappaleessa 4.2.

Valmistaja on velvollinen varmistamaan, että myös sarjatuotannossa valmistettu laite on laissa säädettyjen vaatimusten mukainen. Valmistajan pitää ottaa myös huomioon muutokset yhdenmukaistetuissa standardeissa joihin nähden laitteen vaatimustenmukaisuus ilmoitetaan (1135/2016).

Valmiiseen sähkölaitteeseen, joka täyttää sähköturvallisuuslain (1135/2016) mukaiset vaatimukset kiinnitetään CE-merkintä siten, että se on näkyvillä ja helposti luettavissa. Jos merkintää ei ole perusteltua tai mahdollista kiinnittää, niin se toimitetaan sähkölaitteen asiakirjojen mukana.

Sähkölaitteen merkinnöistä ja asiakirjoista on määrätty sähköturvallisuuslain (1135/2016) 16. pykälässä. Sähkölaitteessa on oltava merkintä, josta selviää sen tunnistetiedot, kuten laitteen tyyppi ja erä- tai sarjanumero. Sähkölaitteessa, sen pakkauksessa tai mukana tulevissa asiakirjoissa ilmoitetaan valmistajan nimi, rekisteröity tavaramerkki ja postiosoite. Sähkölaitteen mukana pitää toimittaa ohje, joka sisältää tarpeelliset tiedot sähkölaitteen turvallisesta käytöstä ja käyttötarkoituksen mukaisesti.

## 4.2 Pienjännitedirektiivi

Euroopan parlamentin ja Euroopan unionin neuvoston direktiivillä 2014/35/EU (EU 2014) on tarkoitus varmistaa, markkinoilla olevien sähkölaitteiden vaatimusten täytyminen. Direktiiviä sovelletaan laitteisiin, jotka toimivat vaihtovirralla jännitealueella 50 V - 1000 V. Seuraavissa alaluvuissa on esitetty direktiivin mukaisia valmistajan velvollisuuksia sekä vaatimuksia.

### 4.2.1 Valmistajan velvollisuudet

Ennen sähkölaitteen saattamista markkinoille laitteen valmistaja varmistaa, että laite on suunniteltu direktiivin 2014/35/EU kolmannen artiklan ja liitteessä 1 vahvistettujen turvallisuustavoitteiden mukaan. Valmistajan on laadittava direktiivin liitteessä 3 listatut tekniset asiakirjat. Asiakirjojen pitää sisältää mahdollisuuksien mukaan seuraavat osatekijät:

1. sähkölaitteen yleinen kuvaus
2. rakenne- ja valmistuspiirustukset sekä komponenttien, osalaitteistojen ja piirien kaaviot
3. kuvaukset ja selitykset piirustuksien ja kaavioiden tueksi, jotka selittävät sähkölaitteen toimintaa
4. luettelo sovelletuista standardeista ja teknisistä erittelyistä
5. suoritettujen suunnittelulaskelmien ja tarkastusten tulokset
6. testiraportit

Valmistajan on suoritettava direktiivin (EU 2014) liitteessä 3 tarkoitettu vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely.

Kun vaatimustenmukaisuus on osoitettu arviointimenettelyllä, valmistajan on laadittava EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus ja kiinnitettävä laitteeseen CE-merkintä.

Vaatimustenmukaisuusvakuutus on pidettävä saatavilla laitteen markkinoille saattamisesta kymmenen vuotta. Markkinavalvontaviranomaisen pyynnöstä on vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta toimitettava jäljennös.

Valmistajan on varmistettava, että laitteen sarjatuotannossa noudatetaan direktiivin vaatimuksia. Valmistajan on otettava huomioon muutokset suunnittelussa, ominaisuuksissa, sekä käytetyissä standardeissa ja muissa teknisissä eritelmissä.

Valmistajan pitää varmistaa, että laitteeseen on kiinnitetty tyyppi-, erä-, tai sarjanumero tai muu tunnistemerkintä. Valmistaja ilmoittaa nimensä, rekisteröidyn tuotenimen, tai tavaramerkin ja postiosoitteen, josta valmistajaan saa yhteyden. Tiedot voi toimittaa laitteen pakkauksessa tai sen mukana seuraavien asiakirjojen yhteydessä. Yhteystiedot esitetään loppukäyttäjien ja markkinavalvontaviranomaisen helposti ymmärtämällä kielellä.

Valmistajan on liitettävä laitteeseen ohjeet ja turvallisuustiedot, jotka ovat selkeitä ja helppotajuisia ja joiden merkinnät ovat myös selkeät ja ymmärrettävät. (EU 2014)

#### **4.2.2 Sähkölaitteen vaatimusten mukaisuus**

Yhdenmukaistettujen standardien käyttö laitteen suunnittelussa on vapaaehtoista. Kun sähkölaite suunnitellaan, valmistetaan, tarkastetaan ja testataan yhdenmukaistettujen standardien mukaisesti, se saa vaatimustenmukaisuusolettaman.

Yhdenmukaistetut standardit ovat eurooppalaisen standardisoimiselimien, kuten Cenelec, CEN tai ETSI pyynnöstä vahvistamia standardeja. Tässä työssä on tutkittu Cenelec:n vahvistamia EN-standardeja. (Tukes 2017)

#### **4.2.3 EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus**

Vaatimustenmukaisuusvakuutuksella sähkölaitteen valmistaja ottaa vastuun siitä, että laite on pienjännitedirektiivissä 2014/35/EU (EU 2014) esitettyjen vaatimusten mukainen. Vaatimustenmukaisuusvakuutus käännetään jäsenvaltioiden vaatimille kielille, joiden markkinoille laite saatetaan. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa ilmoitetaan, että direktiivin kolmannen artiklan liitteessä 1 vahvistettujen turvallisuustavoitteiden täyttyminen on osoitettu. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen pitää noudattaa direktiivin liitteen 4 mukaista mallia ja sisältää liitteen 3 moduulissa A eriteltyt tekijät.

Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa pitää esittää seuraavat tiedot:

1. Tuote / malli
2. Valmistajan nimi ja osoite
3. Lause: ”Tämä vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu valmistajan yksinomaisella vastuulla.”
4. Vakutuksen kohde, kuvaus ja tunnistetiedot
5. Lause: ” Edellä kuvattu vakuutuksen kohde on asiaa koskevan unionin yhdenmukaistamislainsäädännön vaatimusten mukainen: ” Tähän lisätään viittaus sovellettuun EU-lainsäädäntöön
6. Viittaus käytettyihin yhdenmukaistettuihin standardeihin ja teknisiin eritelmiin, joiden perusteella vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu.
7. Allekirjoitus ja henkilön tunnistetiedot, jolla on valtuudet edustaa valmistajaa
8. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen antamispäivämäärä

### **4.3 Standardien mukaiset vaatimukset**

Standardi on laajalti hyväksytty tapa tehdä tietty asia (ETSI 2018). Standardien käyttö alentaa kehitystyöhön kuluvaan aikaan, kun voidaan käyttää joiltain osin standardiksi muodostuneita ratkaisuja ja toimintatapoja. Ajan säästön ja virheiden välttämisen vuoksi standardien käyttö vähentää myös tuotekehityskustannuksia. Standardeilla varmistetaan myös erillisten laitteiden välinen yhteensopivuus sekä taataan tietyt minimivaatimukset. Standardit määrittelevät muun muassa tuotteen turvallisuuteen ja käyttöympäristöön, sekä tekniseen toimintaan liittyvät ominaisuudet.

Tässä työssä perehdytään sähkösuunnitteluun liittyviin standardeihin. Jokaisen jakokeskustyyppin osalta tarvitaan kaksi päästandardia. Näillä standardeilla määritellään vaatimukset ja vaatimusten todentamismenetelmät.

Käytettävät päästandardit tämän tuotesuunnittelun osalta ovat IEC 61439-1:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules ja

IEC 61439-2:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies, jotka Cenelec on hyväksynyt ilman muutoksia eurooppalaisiksi standardeiksi EN 61439-1 ja EN 61439-2. Standardit on vahvistettu myös Suomessa kansallisiksi SFS-EN -standardeiksi: Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset ja Pienjännitekeskukset. Osa 2: Ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot.

Standardisarjan SFS-EN 61439 osassa 1 (2011) käsitellään pienjännitekeskusten yleisiä vaatimuksia ja osassa 2 määritellään erityisvaatimukset ammattikäyttöön tarkoitettuille kojeistoille ja keskuksille. SFS-EN 61439-1:2011 -standardin tarkoituksena on yhdenmukaistaa mahdollisimman pitkälle jakokeskuksia koskevat yleiset säännöt ja vaatimukset. Tavoitteena on saavuttaa samanlaiset vaatimukset ja todentamistavat ja se, ettei todentamisessa tarvita muita standardeja. Sovellettavassa standardisarjan osassa määritellään pienjännitekeskusten käyttöolosuhteet, rakennevaatimukset ja tekniset tunnusmerkit, sekä todentamisvaatimukset.

Tässä kappaleessa suunnittelutyön kohteena olevasta tuotteesta käytetään nimitystä keskus, jota käytetään myös varsinaisessa standardin tekstissä. SFS-EN 61439-1 standardi soveltuu käytettäväksi suunniteltavalle tuotteelle seuraavin osin:

1. Mitoitusjännite ei ylitä 1000 V vaihtojännitteellä, eikä 1500 V tasajännitteellä
2. Keskus on paikallaan pysyvä tai liikuteltava ja varustettu kotelolla tai ilman
3. Keskus on tarkoitettu sähköenergian jakeluun, siirtoon, tuottamiseen ja muuttamiseen ja sähköenergiaa käyttävien laitteiden ohjaukseen.

Standardin SFS-EN 61439-1 kohta 3.1.1 (2011) määrittelee pienjännitekeskuksen seuraavasti: ” yhdistelmä yhdestä tai useammasta pienjännitekytkinlaitteesta niihin liittyvine ohjaus-, mittaus-, merkinanto-, suoja- ja säätölaitteineen sekä kaikki sisäiset sähköiset ja mekaaniset kytkennät ja rakenneosat”.

### 4.3.1 Vaatimukset liitännäisarvoista ja dokumentoinnista

Keskuksen liitännäisarvoilla taataan yhteensopivuus liitettäviin virtapiireihin ja asennusolosuhteisiin. Keskusvalmistajan pitää ilmoittaa liitännäisarvot käyttäen SFS-EN 61439-1:2011 -standardin kohtia 5.2, 5.3, 5.4 ja 5.5.

Standardin SFS-EN 61439-1 kohta 5.2 määrittelee keskuksen jännitearvot. Keskuksen mitoitusjännitteeksi  $U_n$  ilmoitetaan sähköjärjestelman nimellisjännite, eli 230 VAC. Piirin mitoituskäyttöjännite  $U_e$  pitää olla vähintään yhtä suuri, kuin keskuksen nimellisjännite. Piirin mitoituseritys jännite  $U_i$  on oltava vähintään yhtä suuri, kuin edellä mainitut arvot  $U_n$  ja  $U_e$ . (SFS-EN 61439-1 2011)

IT-järjestelmän osalta, jota käytetään muun muassa Norjassa on huomioitava, että arvon pitää olla syötön vaiheiden välisen jännitteen suuruinen. Ilmoitetaan tuotedokumentaatioissa nimellisjännite  $U_n$ . Mitoitussyöksykesto jännitteeksi  $U_{imp}$  ilmoitetaan vaiheen ja maan välisen tehollisarvon (300 V) ja ylijänniteluokan 2 perusteella 2,5 kV (SFS-EN 61439-1:G.1 2011).

Standardin SFS-EN 61439-1 kohdassa 5.3 (2011) määritellään virta-arvot. Keskuksen mitoitusvirraksi  $I_{nA}$  ilmoitetaan, joko rinnan toimivien syöttöjen mitoitusvirtojen summa, tai kokonaisvirta, jonka keskuksen pääpiiri kykenee siirtämään. Näistä arvoista pienempi ilmoitetaan. Piirin mitoitusvirta  $I_{nc}$  on arvo, jonka piiri pystyy johtamaan kuormitettuna yksin normaaleissa käyttöolosuhteissa. (SFS-EN 61439-1 2011)

Keskuksen käytössä olevat liittämistä koskevat tiedot on toimitettava keskuksen mukana tulevassa dokumentaatioissa. Dokumenteissa on myös ilmoitettava tarvittaessa ehdot ja menettelytavat keskuksen ja sen komponenttien käsittelylle, asennukselle, käytölle ja huollolle. Dokumenteissa pitää esittää tarvittaessa suositukset huollon määrästä ja taajuudesta. Tiedot keskuksen painosta ovat tärkeitä kuljetuksen ja käsittelyn kannalta. (SFS-EN 61439-1:6.2 2011).

Keskuksen sisältä on voitava tunnistaa yksittäiset piirit ja niiden suojalaitteet. Tunnusmerkintöjen on oltava luettavia ja pysyviä, sekä fyysiseen ympäristöön sopivia. Merkinnät pitää olla standardien IEC 81346-1 ja IEC 81346-2 mukaisia ja lisäksi vastaavia joita käytetään johdotuskaavioissa. Johdotuskaavioiden on oltava standardin IEC 61082-1 mukaisia. (SFS-EN 61439-1/AC)

### 4.3.2 Tekniset tunnusmerkit

Keskus on varustettava yhdellä tai useammalla arvokilvellä, jossa on kulutusta kestävä merkinnät. Arvokilven pitää olla sijoitettuna paikkaan, josta se näkyy keskuksen ollessa asennettu ja käytössä.

Arvokilven tulee sisältää seuraavat keskusta koskevat tiedot:

1. keskuksen valmistajan nimi
2. tyyppimerkintä, tunnistusnumero, tai muu tunnistamistapa, jolla saa tietoa keskuksen valmistajalta
3. valmistusajankohdan tiedot
4. IEC 61439-X, jossa X on määrätty toinen standardin osa.

Nämä vaatimukset löytyy standardin SFS-EN 61439-1 kohdasta 6.1 (2011).

### 4.3.3 Käyttöympäristön vaatimukset

Seuraavilla vaatimuksilla kuvataan keskuksen normaalit ympäristön käyttöolosuhteet. Nämä vaatimukset täyttävän keskuksen ympäristön lämpötila sisäasennuksissa ei saa ylittää +40 °C eikä ympäristön lämpötilan 24 tunnin keskiarvo saa ylittää +35 °C. Ympäristön lämpötilan alaraja sisäasennuksissa on -5 °C. Keskuksen ympäristön lämpötila ulkoasennuksissa ei saa ylittää +40 °C, eikä sen 24 tunnin keskiarvo ylitä +35 °C. Ympäristön lämpötilan alaraja ulkoasennuksissa on -25 °C. (SFS-EN 61439-1:7.1.1 2011)

Keskuksen ympäristön ilman suhteellinen kosteus ei saa ylittää 50 % sisäasennuksissa maksimilämpötilassa +40 °C. Korkeampia suhteellisen kosteuden arvoja voidaan sallia alhaisemmissa lämpötiloissa. Keskuksen ympäristön ilman suhteellinen kosteus ulkoasennuksissa voi hetkellisesti olla 100 % lämpötilan ollessa maksimissaan +25 °C. (SFS-EN 61439-1:7.1.2 2011)

Pinta- ja ilmaväliarvoja varten määritellään keskuksen käyttöympäristön likaantumisaste. Standardi määrittelee neljä mikroympäristön likaantumisastetta. Teollisuussovellusten keskuksat ovat usein tarkoitettu käytettäväksi likaantumisasteen 3 mikroympäristöissä. Likaantumisasteeseen voidaan vaikuttaa asentamalla laite koteloon. (SFS-EN 61439-1:7.1.3 2011)

Keskuksen asennuspaikan ympäristön korkeus ei saa ylittää 2000 metriä merenpinnasta. Korkeamilla paikoilla on huomioitava jännitekestoisuuden

aleneminen ja ilman jäähdytysvaikutuksen väheneminen. (SFS-EN 61439-1:7.1.4 2011)

#### **4.3.4 Rakennevaatimukset**

Keskuksen rakennusmateriaalien pitää kestää määritellyissä olosuhteissa esiintyviä mekaanisia, sähköisiä ja lämpötilasta, sekä ympäristöstä aiheutuvia rasituksia. Keskuksen sisältämät kytkinlaitteet ja komponentit pitää olla asianomaisen IEC-standardin mukaisia. (SFS-EN 61439-1:8.5.3 2011)

Keskuksen koteloituiluokka esitetään IEC 60529 standardin määrittelemällä IP-koodilla. Koteloituiluokan pitää olla minimissään IPX2, kun keskus on asennettu valmistajan ohjeen mukaan. IP-luokitusta ei voi antaa ilman asianmukaisia standardin SFS-EN 61439-1 kohdan 10.3 (2011) mukaisia tarkastuksia.

Veden kondensoituminen on estettävä ulko- ja sisäasennuksessa silloin, kun keskusta käytetään tiloissa, missä on korkea ilman kosteuspitoisuus, tai suuri lämpötilan vaihtelu. Kondensoitumista voidaan estää esimerkiksi sisälämmittimellä tai kosteuden poistoaukolla, kuitenkin niin, että ilmoitettu koteloituiluokka säilytetään.

Keskuksen ilma- ja pintavälien vaatimukset perustuvat standardiin IEC 60664-1 ja niillä luodaan eristyskoordinaatio. Mitoitettaessa ilma- ja pintavälejä käytetään suurimman jännitteen arvoa.

Keskuksessa käytettävät komponentit ja kytkinlaitteet pitää olla asianomaisten IEC-standardien mukaisia. Komponentit ja kytkinlaitteet pitää asentaa ja johdottaa keskuksessa niiden valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Keskuksen sisällä laitteiden on oltava helposti käsiteltävissä.

Keskuksen kansiin tai oviin asennettavien laitteiden syöttöjohtimet on asennettava siten, ettei johtimet vahingoitu mekaanisesti esimerkiksi keskuksen ovea liikuttamalla. Johtimien koskettaminen mahdollisiin teräviin reunoihin on myös estettävä. Liittimiin liitetään vain yksi johdin. Kaksi tai useampi johdin on sallittua liittää yhteen liittimeen, jos liitin on erityisesti suunniteltu tällaiseen käyttöön.

Virtaa johtavien osien liitos tehdään siten, että riittävä ja pysyvä kosketuspaine on varmistettu. Virtaa johtavat osat eivät saa vahingoittua normaalista lämpenemisestä, eristemateriaalien vanhenemisestä tai käytön aiheuttamasta tärinästä. Valmistaja on vastuussa johtimien ja niiden poikkipinnan valinnasta

keskuksen sisällä. Johdinten minimipoikkipintojen tulee olla standardin IEC 60364-5-52 mukaisia. Esimerkkejä on annettu standardin IEC 61439-1 (2011) opastavassa liitteessä H.

Keskusvalmistaja on vastuussa pää- ja apupiirien tunnistamisesta asennuksen, värin tai johtimien päiden merkintöjen avulla. Nämä pitää täsmätä yhdessä keskuksen johdotuskaavioiden ja piirustusten kanssa. Keskuksen läpiviennit on suunniteltava siten, että kaapelien ollessa asennettuina, vaadittu kotelointiluokka ja suojaus koskettamiselta säilyy.

### **4.3.5 Suojaus sähköiskulta**

Keskuksen laitteet ja piirit on järjestettävä siten, että samanaikainen käyttö ja huolto on mahdollista ja vaadittu turvallisuustaso täyttyy. Ilmaeristeiset jännitteiset osat pitää olla koteloinnin sisällä, jonka IP-luokka on vähintään IPXXB. Koteloinnin avaaminen saa olla mahdollista vain, kun käytetään avainta, työkalua, tai mekaanista apuvälinettä.

Standardin SFS-EN 61439-1 kohdissa 8.4.2...8.4.6 (2011) on vaatimuksia suojausmenetelmistä, joita on sovellettava, kun keskus on liitetty IEC 60364 standardin vaatimukset täyttävään sähköjärjestelmään.

Keskuksen perussuojauksella ehkäistään suora kosketus vaarallisiin jännitteisiin osiin. Perussuojaus saavutetaan keskusranketeella tai lisätoimenpiteillä. Perussuojausta on esimerkiksi avorakenteisen keskuksen asentaminen tilaan, jonne on pääsy ainoastaan valtuutuksen saaneilla henkilöillä.

Suojaustoimenpiteitä voidaan toteuttaa käyttäen eristemateriaaleja, suojuksia tai koteloita. Näistä voidaan valita käytettäväksi yksi tai useampia. Ilmaeristeiset jännitteiset osat pitää olla koteloinnin tai suojuksen sisällä, joilla on vähintään kotelointiluokka IPXXB. Koteloiden ja suojusten pitää olla kestäviä ja tukevia ja niiden tulee olla lujasti kiinnitetty, että kotelointiluokka ja etäisyydet jännitteisiin osiin säilyy normaali käyttöolosuhteissa ulkoisten tekijöiden vaikutuksista huolimatta.

### **4.3.6 Vikasuojaus**

Keskuksen suojaus pitää koostua perussuojauksesta, sekä erillisestä vikasuojauksesta, tai lisätyöstä suojausmenetelmästä, jolla aikaan saadaan perussuojaus ja vikasuojaus (SFS-6000-4-41 2017). Keskuksessa on käytettävä standardin IEC 60364-41-1 mukaisia suojausmenetelmiä.

Keskuksessa on oltava suojajohdin, jonka avulla saavutetaan syötön automaattinen poiskytkentä, jos keskuksessa sattuu vika, tai keskuksesta syötetyissä piireissä sattuu vika, esimerkiksi peruseristyksen vioittuminen. Suojajohdin pitää erottua selkeästi sijoituksen, merkinnän tai värin avulla. Käytettävän värin on oltava kelta-vihreä. Pääpiirin nollajohtimen pitää olla erotettavissa merkinnän tai värin avulla. Suojajohtimen pitää täyttää SFS 6000-5-54 (2017) mukaiset vaatimukset.

Kaikki keskuksen jännitteelle alttiit osat on liitettävä yhteen ja edelleen syötön suojajohtimeen tai maadoitusjärjestelmään. Suojamaadoituksen liitäntä maalattuihin metalliosiin vaatii maalauksen tai pinnoituksen lävistämisen tai poistamisen. Jos jokin keskuksen osa poistetaan, jäljelle jäävän keskuksen osien suojapiirien jatkuvuus ei saa katketa.

IT-jakelujärjestelmään liitettävän keskuksen oikosulkusuojalla pitää olla riittävä katkaisukyky kaikissa sen navoissa pääjännitteellä, jotta kaksoismaasulku voidaan poiskytkä. (SFS-EN 61439-1 2011)

Sähköasennuksissa pitää noudattaa yhtä tai useampaa suojausmenetelmää. Käytettäviä menetelmiä ovat muun muassa syötön automaattinen poiskytkentä, kaksoiseristys tai vahvistettu eristys, sähköinen erotus yhden laitteen syötölle ja pienisjännitepiirien käyttö.

Yleisin suojausmenetelmä on syötön automaattinen poiskytkentä. Tässä menetelmässä perussuojaus toteutetaan jännitteisten osien koteloinnilla, peruseristyksellä tai suojuksilla. Vikasuojaus toteutetaan potentiaalın tasauksella ja syötön automaattisella poiskytkennällä, käyttäen esimerkiksi ylivirtasuojaa. Lisäsuojana voidaan käyttää enintään 30 mA vikavirtasuojaa. (SFS 6000-4-41:2017) Vian sattuessa äärijohtimen ja jännitteelle alttiin osan tai suojajohtimen välille, suojalaitteen pitää katkaista syöttö laitteen äärijohtimista. TN-järjestelmässä sallitaan korkeintaan 5 sekunnin poiskytkentäaika pääjohdoille ja piireille, joita ei koske standardin SFS 6000-4-41 (2017) kohta 411.3.2.2.

#### **4.3.7 Suorituskykyvaatimukset**

Keskus on suojattava oikosulkuvirroilta käyttämällä katkaisijoita tai sulakkeita tai niiden yhdistelmiä. Nämä suojalaitteet voivat olla keskuksessa tai sen ulkopuolella.

Käyttötoiminnan jatkuvuuden takaamiseksi standardi SFS-EN 61439-1 (2011) suosittelee suojauskoordinaatiota, jossa lähtöpiirissä tapahtuva oikosulku

katkaistaan lähtöpiirin suojalaitteella, siten ettei se vaikuta muihin lähtöpiireihin. Tällä varmistetaan suojauksen selektiivisyys.

Valmistajan ja käyttäjän pitää sopia keskuksen sisäisten ja keskuksen ulkopuolisten suojalaitteiden välisestä koordinaatiosta. Tämä sopimus voidaan myös korvata keskusvalmistajan tuoteluettelosta löytyvillä tiedoilla.

#### **4.4 Tarkastukset vaatimusten täyttymisestä**

Standardisarjan SFS-EN 61439 osa 1 ja kohta 10 (2011) määrittelee testit, joilla todennetaan, että keskus ja keskusjärjestelmän rakenne vastaa aiemmin läpikäytyjä standardien asettamia vaatimuksia. Keskuksen sisältämien komponenttien laitestandardien määrittelemiä testejä ei tarvitse toistaa, jos ne on valittu standardin SFS-EN 61439-1 (2011) kohdan 8.5.3 mukaan.

Erilaisia tarkastusmenettelyitä ovat muun muassa tarkastus testaamalla, tarkastus vertaamalla testattuun referenssikohteeseen ja vaatimusten mukaisuuden arviointi varmistamalla laskelmien ja suunnittelusääntöjen oikea käyttö ja turvallisuusmarginaalien käyttö. Jos samalle tarkastukselle on useita menettelyitä, niitä pidetään saman arvoisina ja valmistaja voi itse valita menettelytavan. Tarkastukset suoritetaan keskukselle, joka on puhdas ja uusi. Käyttöön vaikuttavia testejä esimerkiksi oikosulkutestejä, ei tulisi tehdä käyttöönotettaville laitteille. (SFS-EN 61439-1 2011)

Käytettäessä referenssikohdetta vertailuun, laitteen alkuperäinen valmistaja voi valita referenssirakenteen, tarkastuksessa käytettävien keskusten tai sen osien lukumäärän. Alkuperäisvalmistaja voi myös valita järjestyksen, jossa testejä tehdään. Tarkastuksessa käytetyt tiedot, tehdyt laskelmat ja suoritettut vertailut pitää tallentaa tarkastusraportteihin. (SFS-EN 61439-1 2011)

Keskuksen rakenteen ja suorituskyvyn tarkastukseen sisältyy useita kohtia. Rakenteen osalta tarkastetaan:

Materiaalien ja osien lujuus. Käytettäessä IEC 62208 -standardin mukaista koteloa, jota ei ole muutettu siten, että suorituskyky alentuisi, kotelon testausta ei tarvitse toistaa. Jos keskuksen tiedot sisältävä arvokilpi on tehty muuten kuin valamalla, puristamalla, kaivertamalla tai laminoimalla, sen luettavuus pitää testata. Testissä merkintää hangataan käsin 15 sekuntia märällä kankaalla ja tämän jälkeen 15 sekuntia petroolibensiiniin kastetulla kankaalla.

Kotelointiluokka. Kotelointiluokan testaus suoritetaan ovet paikoillaan ja suljettuna laitteen ollessa jännitteetön. Kotelointiluokan IP5X ja IP6X keskuksat testataan IEC 60529:1989 -standardin alakohdan 13.4 mukaisesti. Käytettävän kotelon ollessa IEC 62208 -standardin mukainen ilman kotelointiluokkaa huonontavia ulkoisia muutoksia, lisätestausta ei vaadita.

Ilma- ja pintavälit mitataan standardin EN 61439-1 (2011) liitteen F mukaan. Suojaus sähköiskulta ja suojajohtimen jatkuvuus. Suojapiirien tehokkuus tarkastetaan keskuksen sisässä tapahtuvilta vioilta sekä keskuksen kautta syötetyissä ulkopuolisissa piireissä sattuvilta vioilta. Sisäisten vikojen suojauksen tehokkuus tarkastetaan varmistamalla, että kaikki keskuksen jännitteelle alttiit osat on yhdistetty tulevan suojajohtimen liittimeen ja mittaamalla, että piirin resistanssi ei ylitä arvoa 0,1 ohmia. Tarkastukseen käytetään mittalaitetta, joka syöttää vähintään 10 A virran vaihto- tai tasasähkön. Virta johdetaan jännitteelle alttiiden osien ja ulkoisen suojajohtimen välille. Keskuksen ulkopuolisissa piireissä sattuvan vian suojausta ei tarvitse tarkistaa SFS-EN 61439-1 (2011) kohtien 10.5.3 ja 10.11.2 mukaan, sillä keskuksen lyhytaikainen mitoitusoikosulkuvirta ei ylitä arvoa 10 kA tehollisarvona.

Kytkinlaitteiden ja komponenttien liitännät varmistetaan alkuperäisen valmistajan tarkastuksella. Myös sisäiset sähköpiirit ja niiden liitännät sekä ulkoisten johtimien liittimet varmistetaan alkuperäisen valmistajan tarkastuksella.

Suorituskyvyn osalta keskukselta tarkastetaan standardin SFS-EN 61439-1 (2011) kohtien 10.9...10.13 mukaisesti:

1. Sähköiset ominaisuudet
2. Lämpötilan nousun rajat
3. Oikosulun kestävyys
4. Sähkömagneettinen yhteensopivuus
5. Mekaaninen toiminta

## 4.5 Kappaletarkastukset

Kappaletarkastus tehdään standardin SFS-EN 61439-1 (2011) kohdan 11.1 mukaan jokaiselle valmistettavalle keskukselle. Sen tarkoitus on löytää materiaaleihin ja työhön liittyvät viat ja varmistaa keskuksen asianmukainen

toiminta. Valmistaja päättää tehdäänkö tarkastus valmistuksen aikana, vai sen jälkeen. Kappaletarkastusta ei tehdä erillisille kojeille, jos ne on käyttötarkoitukseen sopivia ja noudattavat asianosaista IEC-standardia ja asennus on tehty valmistajan ohjeen mukaan.

Kappaletarkastuksessa tarkastetaan silmämääräisesti kotelointiluokka kohdan 11.2 mukaan, ilma- ja pintavälit kohdan 11.3 mukaan, suojapiirin jatkuvuus sekä perussuojauksen ja vikasuojauksen menetelmät kohdan 11.4 mukaan. Ruuviliitosten kireys varmistetaan satunnaisotannalla kohdan 11.6 mukaan. Mekaaniset käyttölaitteet, kuten lukitukset ja lukot tarkastetaan kohdan 11.8 mukaan.

Kappaletarkastuksessa tarkastetaan myös sähköisiä ominaisuuksia. Keskukset joiden syötön suojaus on enintään 250 A, voidaan testata eristysresistanssimittarilla vähintään jännitteellä 500 VDC. Testitulos on tyydyttävä, kun piirien ja jännitteelle alttiiden osien välinen eristysresistanssi on vähintään 1000 ohm / V. Testien ajaksi ylijännitesuoja jätetään liittämättä. Testiä ei vaadita apupiireille, jotka on suojattu max. 16 A oikosulkusuojalla. (SFS-EN 61439-1 2011)

## 4.6 Vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen

Tukes:n oppaassa sähkölaitteiden valmistuksesta (2017) on esitetty kuusi vaihetta, mitkä sähkölaitteen valmistajan on suoritettava ennen laitteen asettamista saataville EU:n markkinoille.

1. Tunnista laitetta koskevat direktiivit ja yhdenmukaistetut standardit.
2. Tarkista laitekohtaiset vaatimukset
3. Selvitys vaaditaanko vaatimustenmukaisuuden arviointiin kolmas osapuoli, eli ilmoitettu laitos.
4. Laitteen CE-merkintä ja EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatiminen
5. Teknisten asiakirjojen laatiminen ja asettaminen saataville
6. Laitteen testaus ja vaatimustenmukaisuuden tarkistus

## 5. TUOTE-ESITTELY

Tässä kappaleessa esitellään uusi muuntamoautomation toteutukseen tarkoitettu kaukokäytön ala-asematuote Netcon 200 (kuva 10). Kyseessä on modulaarinen RTU-laite, missä eri yksiköitä voidaan ketjuttaa ethernet-liitännällä halutun kokoonpanon muodostamiseksi.

RTU:ssa on integroitu HMI-paneeli (engl. Human Machine Interface), jolla voidaan paikallisesti ohjata muuntamon RMU-kojeiston kuormaerottimia tai katkaisijoita. Laitteeseen on mahdollista liittää myös ulkoinen HMI-paneeli, jolloin paikalliskäyttö on mahdollista ilman laitekaapin avausta.

Laitteen järjestelmä sisältää oletuksena useita kaukokäyttöliikenteeseen käytettäviä slave-protokollia, sekä master-protokollia esimerkiksi IED-laitteiden liittämiseksi. Tärkeimpinä kaukokäyttöprotokollina mainittakoot sarjamuotoinen IEC 60870-5-101 ja IP-pohjainen (engl. Internet Protocol) IEC 60870-5-104.

Perustoiminnallisuuden lisäksi laitteeseen voidaan konfiguroida muun muassa laukaisevaa suojaroletoiminnallisuutta tai automaattinen syötönvaihtosovellus. Suojaretoiminnallisuuden avulla voidaan toteuttaa esimerkiksi kappaleessa 2.3.1 esitettyä vyöhykesuojausta, jota havainnollistetaan kuvassa 1.

Automaattista syötönvaihtoa käytetään kriittisissä kulutuspaikoissa, ja esimerkiksi prosessiteollisuudessa, missä sähkökatko aiheuttaa taloudellista haittaa tuotantoprosessin keskeytyessä. Automaattinen syötönvaihto on sovellus, joka tarkkailee muuntamon kahden eri johtolähdön jännitettä kahden eri mittausyksikön avulla. Toinen johtolähdöstä on määritelty muuntamon ensisijaiseksi syötöksi. Kun tämä johtolähtö tulee jännitteettömäksi keskijänniteverkon vian seurauksena, sovellus avaa kyseisen johtolähdön kytkinlaitteen ja ohjaa kiinni toisijaisen johtolähdön kytkinlaitteen, jos se on jännitteellinen. Kytkeä tapahtuu muutamissa sekunneissa. Tällä helpotetaan ja nopeutetaan työtä, jonka normaalisti tekisi verkkovalvomon operaattori.

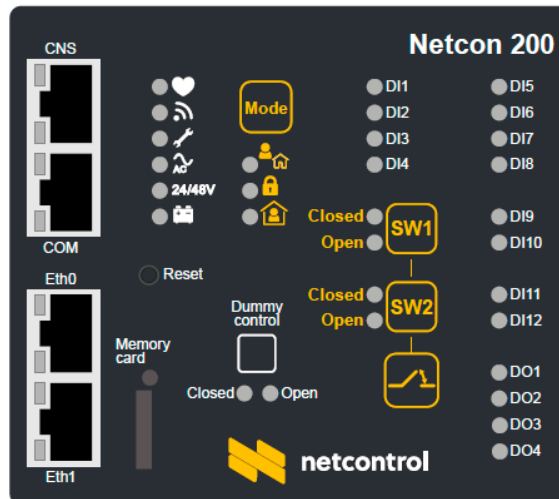
Netcon 200 voidaan toimittaa erillisenä komponenttina, tai kalustettuna osaksi valmista automaatiokeskusta. RTU-laitteen suunnittelua osaksi keskusta on käyty läpi kappaleessa 6. (Netcontrol 2019c)

## 5.1 I/O-yksikkö

Yhdellä RTU:n I/O-yksiköllä voidaan toteuttaa neljän johtolähdön kuormaerottimien ja maadoituserottimien tilatietojen indikointi ja kuormaerottimien ohjaus. I/O-yksikkö on laajennettavissa mittausyksiköllä ja lisä-I/O -yksiköllä.

I/O-yksikön HMI-paneelista voidaan valita ala-aseman käyttötila vaihtoehdoista: paikalliskäyttö, kaukokäyttö ja lukittu tila. Yksikössä on LED-indikaattorit jokaiselle digitaaliselle sisäänmenolle ja digitaaliselle ulostulolle.

Lisäksi yksiköstä löytyy indikaattorit, mitkä kuvaavat laitteen järjestelmän statuksen, järjestelmän sisäisen vian, apujännitteen (230 VAC) tilan ja akuston jännitteen (24 VDC) tilan. (Netcontrol 2019c)



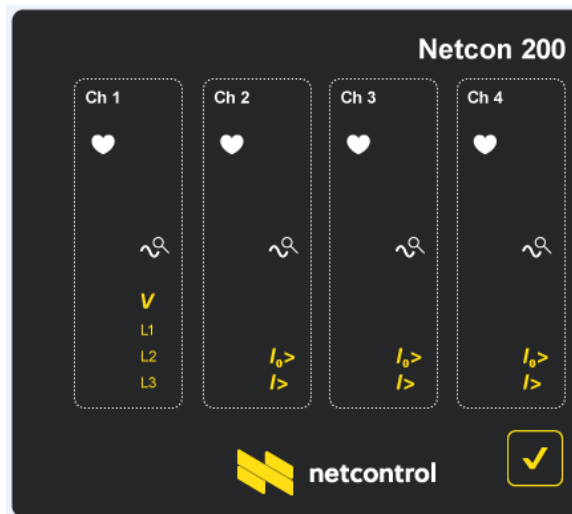
*Kuva 10. Netcon 200 RTU (Netcontrol 2019c)*

## 5.2 Mittausyksikkö

Yhdellä Netcon 200 mittausyksiköllä, joka on esitetty kuvassa 11, voidaan toteuttaa keskijännitteen kolmivaiheinen mittaus yhdestä pisteestä, sekä kolmen johtolähdön kolmivaiheinen virranmittaus. Jännitteen mittaus toteutetaan esimerkiksi kapasitiivisten jännitesensoreiden avulla, joka perustuu kapasitiiviseen jännitteen jakoon. Virranmittaus toteutetaan virtasensoreilla, joissa on hyödynnetty rogowski-kelan toimintaperiaatetta.

Näiden mittaustietojen avulla laitteella voidaan toteuttaa keskijänniteverkon vikaindikoitua, kuten oikosulkujen ja maasulkujen indikoitua. Vikaindikaatiosignaalit toimivat myös laukaisusignaaleina, jos suojalettoiminnallisuus on konfiguroitu käyttöön.

Vikaindikoineista voidaan laukaista myös häiriötallennin, joka tallentaa vian aikaiset mittaustiedot comtrade-muotoiseksi tiedostoksi. Liikennöintitavasta riippuen tallenteet voidaan lähettää mittaus- ja vikatietojen analysointijärjestelmään PQA:han. (Netcontrol 2019c)



*Kuva 11. Netcon 200 RTU:n mittausyksikkö (Netcontrol 2019c)*

### 5.3 Käyttöliittymä

RTU-laite konfiguroidaan WebGUI-nimisellä web-pohjaisella graafisella käyttöliittymällä, joka toimii PC:n internet-selaimella. Tämän etuna on ettei erillisiä ohjelmia vaadita laitteen konfiguroimiseksi. WebGUI-käyttöliittymää ajetaan Netcon 200:n järjestelmässä. WebGUI:ssa on erilaisia käyttäjäryhmiä, joilla on eritasoiset oikeudet.

Konfiguroinnin lisäksi WebGUI:lla voidaan monitoroida laitteeseen kytkettyjä reaaliaikamittauksia ja kytkinlaitteiden tilatietoja. Käyttöliittymästä voidaan myös ohjata kytkinlaitteita sekä aktivoida toimintoja.

Kuvassa 12 on esitetty WebGUI:n konfigurointinäkymä missä valitaan SCADA-järjestelmään lähetettävät kaukokäyttösignaalit ja annetaan signaaleille osoitteet.

Kuvassa 12 näkyvät signaalit ovat objekteja, joihin on linkitetty tietyt yksi- tai kaksinapaiset digitaalisäänmenot.

Kuvassa 12 näkyvässä RGs-sarakkeessa (engl. Redundancy Group) voidaan valita kuinka monelle SCADA-järjestelmälle signaalit liikennöivät samanaikaisesti. (Netcontrol 2019d)

Indication, single point

I/O address	Object	Signal	Inv RGs
<input type="text" value="0.30.11"/>	<input type="text" value="Statio.System"/>	<input type="text" value="A_IECLink_SumAlarm:1(SP)"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="text" value="0.30.17"/>	<input type="text" value="Rack1.PSS"/>	<input type="text" value="A_Pwr_ACOK:1(Chg)"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="text" value="0.30.18"/>	<input type="text" value="Rack1.PSS"/>	<input type="text" value="A_Batt_LowVolt:1(Chg)"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Indication, double point

I/O address	Object	Signal	Inv RGs
<input type="text" value="0.31.5"/>	<input type="text" value="U1.Q01"/>	<input type="text" value="I_Disc_Position:1(Chg)"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="text" value="0.31.6"/>	<input type="text" value="U1.Q02"/>	<input type="text" value="I_Disc_Position:1(Chg)"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="text" value="0.31.10"/>	<input type="text" value="U1.Q01"/>	<input type="text" value="I_Disc_Earthed2:1(Chg)"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="text" value="0.31.11"/>	<input type="text" value="U1.Q02"/>	<input type="text" value="I_Disc_Earthed2:1(Chg)"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

**Kuva 12.** WebGUI-käyttöliittymä (Netcontrol 2019d)

## 6. TUOTESUUNNITTELU

Suunnittelun lähtökohtana on suunnitella kappaleessa 5 esitelty Netcon 200 RTU-laite osaksi muuntamoille asennettavaa automaatiokeskuskaappia. Lähtökohtana on myös täyttää pienjännitekeskuksia ja pienjänniteasennuksia koskevat standardit ja lait. Lopputuotteen pitää täyttää myös loppuasiakkaiden tekniset sekä toiminnalliset vaatimukset ja määrittelyt.

Kaikki markkina-alueen maat: Iso-Britannia, Norja, Puola, Suomi ja Ruotsi ovat Cenelecin jäsenmaita. Käytettävät päästandardit tämän tuotteen osalta ovat IEC 61439-1:2011 ja IEC 61439-2:2011. Suunnittelutyössä sovellettavat muut standardisarjat ovat: IEC 60364 Low-voltage electrical installations. Cenelec on hyväksynyt nämä standardit yhdenmukaistetuiksi eurooppalaisiksi standardeiksi. Suunnitteludokumentaation osalta sovelletaan kansainvälistä standardia: IEC 61082-1:2014 (Preparation of documents used in electrotechnology - Part 1: Rules), joka on vahvistettu myös suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi.

Ennen suunnittelutyön aloittamista on selvitetty nykyhetken haasteita ja ongelmia liittyen olemassa olevaan muuntamoautomaatiotuotteeseen. Näihin haasteisiin ei kuitenkaan ole paneuduttu tässä diplomityössä. Tämän jälkeen lakien ja standardien asettamia vaatimuksia uuden tuotteen osalta on selvitetty kirjallisuustutkimuksena, jotka on käyty läpi kappaleessa 4.

Ennen suunnittelutyön aloitusta kerättiin asiakaskohtaisia vaatimuksia haastatteluilla, sekä markkinatutkimuksen (Netcontrol 2019b) avulla, joka toteutettiin kyselytutkimuksena web-pohjaisen palvelun avulla. Kysely toimitettiin strategisesti tärkeille ja riittävän erilaisille asiakkaille eri markkina-alueilla. Tuloksia on käsitelty kappaleessa 6.2.

### 6.1 Tavoitteet ja yleiset vaatimukset

Uudelle tuotteelle ja sen suunnittelutyölle on sekä ulkoisia, että yrityksen sisäisiä tavoitteita. Tavoitteita voidaan jakaa myös taloudellisiin ja teknisiin tavoitteisiin ja vaatimuksiin. Taloudelliset vaatimukset tulevat, sekä asiakkaiden suunnalta, että yrityksen sisäisistä tavoitteista. Tekniset vaatimukset ovat pääosin ulkoisia standardien ja lakien asettamia vaatimuksia, sekä asiakkaiden asettamia teknisiä vaatimuksia.

Asiakkaiden vaatimusten täyttämiseksi vaaditaan teknisten vaatimusten lisäksi myös kustannustehokkuutta. Vaadittu toiminnallisuus pitää saavuttaa edullisesti. Tuotteella pyritään suuriin volyymitoimituksiin, mikä selittyy sähköverkon rakenteella. Muuntamoita on verkossa lukumäärällisesti paljon enemmän verrattuna esimerkiksi sähköasemiin. Muuntamoiden automaatioasteessa on myös paljon enemmän tällä hetkellä nostopotentilaalia verrattuna sähköasemiin, jotka on monessa paikassa jo automatisoitu.

Yhtenä yrityksen sisäisenä tavoitteena on päästä tuotteen avulla uudelle markkina-alueelle. Tuotesuunnittelun vaatimuksena ja lähtökohtana onkin täyttää kansainväliset IEC-standardit ja eurooppalaiset EN-standardit. Tavoitteena on soveltaa standardeja, jotka on käytössä koko yhtiön markkina-alueella.

Tavoitteena on myös toisaalta määritellä ja suunnitella lopputuote, joka täyttää tekniset vaatimukset kaikilla markkina-alueilla, jotta vältytään eri optioilta ja useilta eri toimitusvaihtoehdoilta.

Lopputuotteen osalta tavoitellaan myös myynti- ja ostoprosessin helpottumista. Tätä lähdetään toteuttamaan selkeämmällä standardien mukaisella tuotedokumentaatiolla ja karsimalla erilaisten vaihtoehtojen määrää, esimerkiksi jättämällä pois tiettyjä lisälaitteita ja tiettyjä laitekoonpanoja.

## **6.2 Asiakaskohtaiset vaatimukset**

Tähän työhön liittyviä tavoitteita on selvitetty yrityksen tuotekehitysyksikön haastattelujen (Netcontrol 2019c) avulla. Asiakkaiden vaatimuksia selvitettiin niin ikään tapaamisten yhteydessä suoritetuilla haastatteluilla ja verkossa toteutetun markkinatutkimuksen (Netcontrol 2019b) avulla. Ulkoiset haastattelut käsittivät muun muassa kumppaniyritykset, sekä isot loppuasiakkaat.

Markkinatutkimus (Netcontrol 2019b) toimitettiin yhteensä 40:lle toimijalle eri maihin. Toimijat olivat pääosin loppuasiakkaita, eli sähköverkkoyhtiöitä. Vastauksia saatiin 14 kappaletta. Tämän kappaleen alaluvuissa on esitelty eri asiakkaiden teknisiä ja toiminnallisia vaatimuksia sekä vaatimuksia käyttöympäristöstä ja testauksesta.

Tässä kappaleessa automaatiotuotteesta, joka standardin mukaan luetaan pienjännitekeskukseksi puhutaan automaatiokeskukseksi, joka käsittää varsinaisen RTU-laitteen ja koko keskuskaapin, mihin komponentit ja kojeet kalustetaan.

Tämän työn osana syntyvän automaatiokeskuksen suunnittelun lopputulos ei välttämättä täytä kaikkien asiakkaiden tai eri markkina-alueiden vaatimuksia. Myöhemmin on tarvetta todennäköisesti suunnittelun ja valmistuksen osalta edelleen erilaisille kokoonpanoille.

Suunnittelutyön ja asiakkaiden vaatimusten perusteella asiakkaat jaetaan maantieteellisen sijainnin mukaan eri markkina-alueisiin 1, 2 ja 3. Eri markkina-alueille suunnitellaan toisistaan eroavat keskuskaappiversiot 1, 2 ja 3.

1 - Suomi, Ruotsi ja Puola

2 - Iso-Britannia

3 - Norja

Tässä työssä suunniteltu automaatiokeskus (kappale 6.3) on luonnos markkina-alueelle 1. Versio 1 täyttää useamman kuin yhden markkina-alueen vaatimukset. Versiot 2 ja 3 ovat markkina-aluekohtaisia, eikä näitä ehdoteta tarjottavaksi esimerkiksi markkina-alueelle 1.

## 6.2.1 Tekniset vaatimukset

Tässä kappaleessa on listattu ja käsitelty asiakkaiden vaatimuksia keskussuunnittelun osalta. Koteloinnin pitää täyttää IEC 60529 -standardin mukaiset vaatimukset. Koteloinnin pitää täyttää vähintään IP54-luokitus, josta pitää esittää kotelovalmistajan sertifikaatti. Koteloinnissa pitää olla toteutettu riittävä ilmanvaihto akuston latauksessa mahdollisesti syntyvien kaasujen estämiseksi.

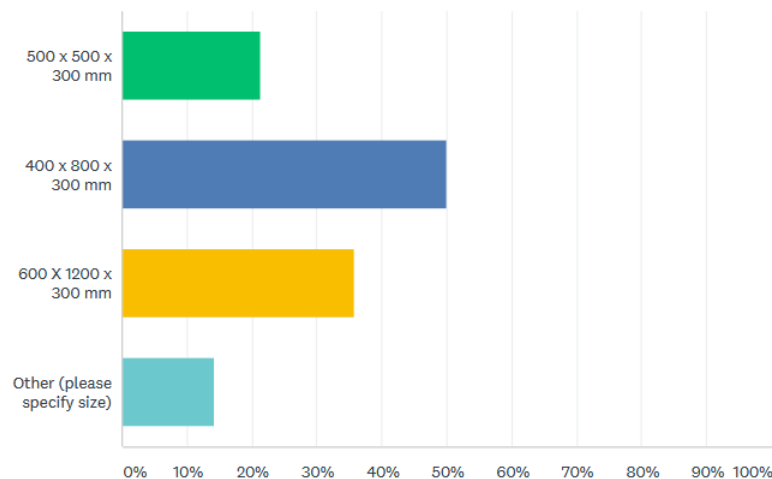
Akuston odotettu kestoikä pitää olla minimissään 10 vuotta. Laitteen virtalähde toimii akuston laturina, joka pitää olla mitoitettu siten, että se lataa akuston täyteen kuudessa tunnissa, ulkopuolisen kommunikaatiolaitteen ollessa kytkettynä ja käytössä, pois lukien kuitenkin kytkilaitteiden ohjaukset, esimerkiksi keskijännitekojeiston erottimet.

Akuston laturin pitää toimia lämpötilakompensoidusti, eli matallassa lämpötilassa latausjännite on korkeampi, kun taas korkeammassa lämpötilassa latausjännite laskee. Laitteen pitää olla kykenevä monitoroimaan akuston tilaa ja arvoja, sekä suorittamaan akuston testausta. Akusto pitää olla suojattu akkujen syväpurkaukselta, siten, että akuston jännitteen laskiessa alle 20 V:n, akusto irtikytketään automaattisesti vähintään 60 sekunnin ajaksi.

Keskuksessa pitää olla mahdollisuus irtikytkä akusto, laitteen syöttöjännite ja kytkinlaitteiden esimerkiksi erottimien moottoriohjainten syöttöpiiri sopivasti mitoitetujen johdonsuojakatkaisijoiden avulla. Laitteessa pitää olla suojaus väärin kytkettyä akuston polariteettia vastaan.

Version 2 osalta vaaditaan IP55 luokitusta kaikille keskuskaapeille, jolloin ei suunnitella erillistä ulkokaappioptiota. Tämän version osalta asennuksen helppous ja siihen kuluva aika on erittäin tärkeää. Kojeiston ja automaatiokeskuksen välistä kytkentätyötä helpottaakseen suunnitellaan valmis johtosarja asiakkaan määrittelemillä kojeiston liittimillä. Useimmiten käytettävät kojeistomallit ovat: Schneider RT2 ja Lucy Sabre. Kotelointi pitää olla varustettu M10-kokoisella maadoituspisteellä. Koteloinnista pitää löytyä standardiliitännäraja-pinta kojeiston ja RTU:n välillä. Akuston jännitetason pitää olla 24 VDC. Akustolla pitää taata vähintään 24 tunnin toiminta-aika ilman apusähköä.

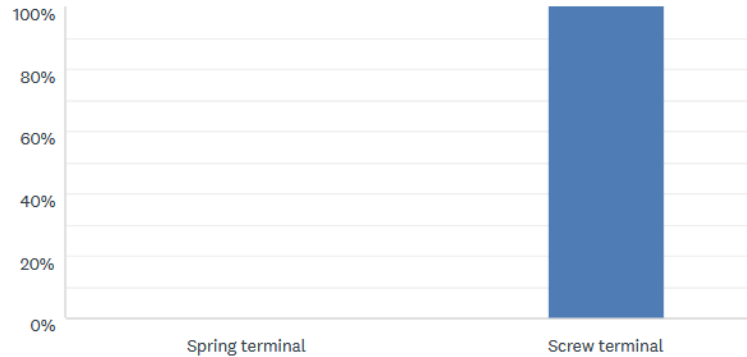
Kuvassa 13 on esitetty kyselytutkimuksen tuloksena saatu kaappikoko. Eniten kannatusta sai 400 x 800 x 300 (W x H x D) kokoinen kytkentäkaapi. Keskusversiot 2 ja 3 poikkeavat kuvassa esitetystä koosta. Version 2 osalta maksimi mitat ovat luoksepäästävyden takia 400 x 600 x 300



**Kuva 13.** Kaappikoko (Netcontrol 2019b)

Kuvassa 14 on esitetty kyselytutkimuksen tulos käytettävästä riviliitintyyppistä markkina-alueilla 1 ja 3. Vaihtoehtoina oli ruuvi- ja jousiliitos. Kuvasta 14 nähdään, että ruuviliitos on yksimielisesti selkein vaihtoehto. Riviliittimiä

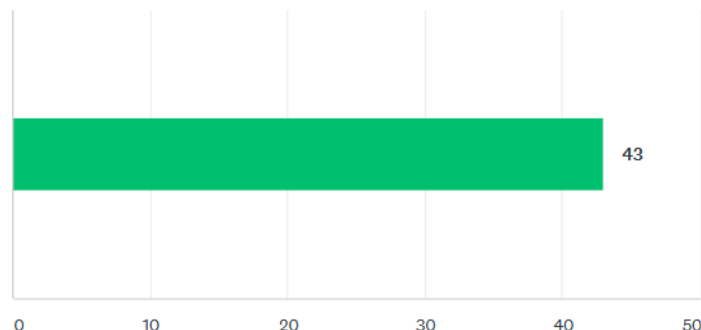
käytetään keskuksen sisältämien kojeiden välisissä liitännöissä. Keskusversioissa 1 ja 3 kojeiston liitännäraja on myös riviliitinkoonne automaatiokeskuksessa.



**Kuva 14.** Riviliitintyyppi (Netcontrol 2019b)

Kuvassa 15 on esitetty kyselytutkimuksen tulos akustolta vaadittavasta toiminta-ajasta. Vastausten keskiarvo on 43 tuntia. Vastaukset vaihtelivat karkeasti välillä 12 - 72 tuntia.

Vastauksia analysoitaessa todettiin, että suuremmissa kaupungeissa sijaitsevissa sähköverkkoyhtiöissä vaadittu toiminta-aika oli pienempi. Tämä selittyy kaupunkiverkkojen korkealla kaapelointiasteella. Vastaavasti tajaamien ulkopuolella sijaitsevassa verkossa on pitkiä avojohtopituuksia ja tietyt verkon osuudet voivat sijaita vaikeakulkuisissa paikoissa viankorjausta ajatellen.



**Kuva 15.** Toiminta-aika akustolla (Netcontrol 2019b)

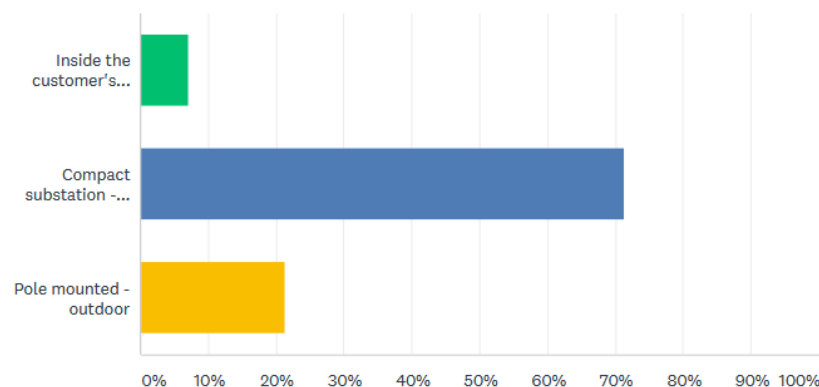
## 6.2.2 Vaatimukset asennuksesta ja käytöstä

Keskuksen sisältäville liittimille ja kalustetuille laitteille pitää olla helppo pääsy, siten ettei vaikuteta muihin laitteisiin tai niiden johdotuksiin. Koteloinnin ovi pitää olla lukittavissa riippulukolla, kun laite sijaitsee lukittujen tilojen ulkopuolella. Keskuksen oven pitää aueta vähintään 120 astetta ja ovesta pitää löytyä mekanismi, joka rajoittaa oven liiallisen aukeamisen, siten, että se vahingoittaisi rakenteita. Mekanismin avulla ovi pitää pystyä lukitsemaan auki asentoon.

Laitteen pitää olla huoltovapaa, pois lukien akuston vaihdon. Laite ei saa sisältää liikkuvia osia, kuten tuulettimia. Huoltoon ja korjaukseen käytettävät työkalut, sekä materiaalit on osoitettava käyttöohjeissa, jotta MTTR-aika (engl. Mean Time to Repair) voidaan minimoida.

## 6.2.3 Käyttöympäristön vaatimukset

Markkinatutkimuksen (Netcontrol 2019b) mukaan yleisin asennuskohde automaatiokeskuskaapille on kompaktimuuntamo (kuva 16), jollainen on esitelty muun muassa kappaleen 3.3 kuvassa 8. Tällainen asennuspaikka on katettu sisätila. Tilat voivat kuitenkin olla rakennettu ilman lämpöeristeitä, joka aiheuttaa lämpötilan suurenkin vaihtelun kesä- ja talvikausien välillä.



**Kuva 16.** Automaatiokeskuksen asennuspaikka (Netcontrol 2019b)

## 6.2.4 Testausvaatimukset

Jokaiselle valmistetulle keskukselle suoritetaan standardin IEC 61439-1 mukainen rutiinitestaus, eli kappaletarkastus, jota on käsitelty tämän työn kappaleessa 4.5. Testit suoritetaan ennen toimitusta valmiille keskukselle ja testien tulokset dokumentoidaan ja tallennetaan niille määriteltyyn paikkaan.

Asiakkaan vaatimuksesta suoritetaan ennen toimitusta FAT-testi (engl. Factory Acceptance Test). Toimituksen jälkeen asiakas asentaa tai asennuttaa automaatiokeskuksen osaksi muuntamon sähköisiä toisiopiirejä. Muuntamon keskijännitekojeistoon kytketään keskijännitekaapelit, jolloin muuntamo liittyy osaksi keskijänniteverkkoa. Ennen sähköjen kytkemistä kyseiselle muuntamolle tehdään käyttöönottotarkastus.

Tässä yhteydessä myös automaatiojärjestelmälle voidaan suorittaa käyttöönottotesti, eli SAT-testi (engl. Site Acceptance Test). Testillä varmistetaan, että kokonaisuus toimii. Esimerkiksi, että kenttälaitteen asentotiedot välittyvät RTU-laitteeseen konfiguroitujen signaalien avulla kaukokäyttöprotokollaa pitkin verkkovalvomoon, ja valvomosta lähetetyt ohjaukskäskyt välittyvät kenttälaitteille, esimerkiksi erottimien avaus. Erilaisten testilaitteiden avulla voidaan generoida testijännitteitä ja -virtoja mittausten, vikaindikoinnin ja johtolähdön suojauksen testaamiseksi.

## 6.3 Sähkösuunnittelu

SFS 6000 -standardin osa 1 korostaa suunnitteluvaiheessa suojauksen perusvaatimuksien täyttymistä. Perusvaatimuksilla tarkoitetaan ylivirta- ja oikosulkusuojauksia sekä vikasuojauksia. Mikäli asennuksessa käytetään ylijännitesuojauksia myös sen toteuttaminen määritellään suunnitteluvaiheessa. (STUL 2013 s.34)

Tässä kappaleessa esitellään automaatiokeskuskaappiin kalustettavat komponentit ja lyhyet perustelut niiden valinnalle. Tämän kappaleen perusteella on tehty varsinainen suunnittelutyö, jonka lopputulos on esitetty liitteissä A ja B. Suunnitteluohjelmanä on käytetty Autodeskin AutoCAD Electrical 2019 -suunnitteluohjelmaa, jolla luodaan vaadittava dokumentaatio, kuten piirikaaviot, layout-piirustus, liitännätaulukko ja osaluettelo.

AutoCAD Electrical on 2D-suunnitteluohjelmisto, joka on tarkoitettu sähköisten järjestelmien dokumenttien suunnitteluun ja muokkaukseen. Ohjelmisto sisältää työkalut piirikaavio- ja layout-kuvien suunnitteluun ja raportointiin. AutoCAD Electrical sisältää vakiona useita kirjastoja, kuten IEC 60617 -standardin mukaisen kirjaston, jonka piirikaaviosymboleita muun muassa tässä työssä käytetään. Ohjelmisto sisältää kattavan tietokannan eri valmistajien kojeiden tiedoista, sekä rakenneosat useiden tunnetujen valmistajien PLC-moduuleista (engl. Programmable Logic Controller). (Future 2018)

### 6.3.1 Johtimet ja liittinrajapinnat

Keskuksen sisäiset johtimet järjestetään tai merkitään siten, että ne tunnistetaan muun muassa tarkastamista, testaamista ja korjaustöitä varten. Nollajohdin pitää olla koko pituudeltaan sininen. Suojajohtimessa käytetään koko pituudeltaan kelta-vihreää väriyhdistelmää. Muut johtimet merkitään värein tai numeroin. Ohjauspiireissä käytetyt 2 - 5 johdinta sisältävien kaapelien johtimet on tunnistettava värein tai kirjoitusmerkein. Yli viiden johtimen kaapelien johtimet on tunnistettava väreillä tai numeroilla standardin SFS-EN 660445 mukaisesti. (SFS 6000-5-51 2017)

Vaihtosähköjärjestelmän vaihejohtimissa käytetään koko pituudelta värejä ruskea, musta ja harmaa. Saman värin käyttö kaikissa äärijohtimissa on myös sallittua. Tasasähköjärjestelmässä suositellaan IEC 60445 -standardin mukaan käytettäväksi punaista tunnusväriä L+ johtimelle ja valkoista L- johtimelle. Kaapelien konsentrisille johtimille tai kaapelin metallivaipalle ei vaadita värien tai merkintöjen käyttöä. (SFS 6000-5-51 2017)

Johtimien poikkipinta valitaan kuormitusvirran perusteella. Tämän takia oletettava kuormitusvirta pitää määritellä mahdollisimman tarkkaan jo suunnitteluvaiheessa. Johtimen kuormitettavuuteen vaikuttaa muun muassa asennusolosuhteet. Johtimen eristysaineen lämpötilan raja-arvot ei saa ylittyä normaalissa kuormitustilanteessa. Esimerkiksi PVC-eristeisen (engl. Polyvinyl Chloride) johtimen lämpötilan raja-arvo on 70 °C. Sertifioidun johtimen lämpötilan raja-arvo voi olla valmistajan määrittelemänä myös korkeampi. (SFS 6000-5-52 2017)

Kiinteissä asennuksissa johtojärjestelmän eristetyt johtimet, joissa on vain johdineriste, mutta ei vaippaa, pitää asentaa johtokanavaan tai asennusputkeen.

Vaatus ei koske standardin SFS 6000-5-54 mukaisia suojaohjimia. (SFS 6000-5-52 2017 s.223)

Vaihto- ja tasasähköpiirien jännitteisten ohjimien minimipoikkipinnat on esitetty standardin SFS 6000-5-52:2017 taulukossa 52.2. Johtojärjestelmässä, joka on kiinteästi asennettu käyttäen kaapeleita ja eristettyjä ohjimia ja tarkoitettu tehonsyöttöön, kupariohjimen minimipoikkipinta on 1,5 mm<sup>2</sup>. Merkinanto ja ohjauspiirien kupariohjimen minimipoikkipinta on 0,5 mm<sup>2</sup>. Eristetyillä ohjimilla ja kaapeleilla, joita käytetään tiettyä kojetta varten taipuisalla liitännällä, voidaan kupariohjimen poikkipintana käyttää 0,75 mm<sup>2</sup> tai muu poikkipinta asianomaisen laitestandardin mukaisesti myös tehonsyötön osalta. (SFS 6000-5-52 2017 s.232)

Keskusta syöttävän vaihtosähköpiirin nollohojimen poikkipinnan pitää olla vähintään yhtä suuri kuin syöttävän vaiheohjimen poikkipinnan, jos käytössä on kaksiohojminen yksivaihepiiri ja, jos vaiheohjimen poikkipinta on enintään 16 mm<sup>2</sup> tai 25 mm<sup>2</sup> alumiinia.

Suojajohtinta käytetään muun muassa sähköiskulta suojautumiseen. Suojaohjimien poikkipinnan pitää täyttää standardin SFS 6000-4-41 ja kohdan 411.3.2 vaatimukset. Ääriohjimen poikkipinnan ollessa alle 16 mm<sup>2</sup>, ja suojaohjimen ollessa samaa materiaalia, kuin ääriohdin, voidaan käyttää samaa poikkipintaa standardin SFS 6000-5-54:2017 taulukon 54.2 mukaan. Erillisen suojaohjimen, joka ei ole kaapelivaipan alla, ja jota ei ole asennettu ääriohjimen kanssa samaan asennusputkeen pitää olla poikkipinnaltaan vähintään 2,5 mm<sup>2</sup> kuparia, jos se on mekaanisesti suojattu. Ilman mekaanista suojausta minimipoikkipinta on 4 mm<sup>2</sup>. Mekaaniseksi suojaksi katsotaan esimerkiksi johtokanava tai asennusputki. Suojaohjimessa ei saa olla kytkinlaitetta. (SFS 6000-5-54 2017)

Ohjimien liitosten pitää saada aikaan riittävä mekaaninen lujuus ja suojaus. Sähköisten liitosten pitää myös olla vanhenemista kestäviä. Liitostapoja valittaessa huomioidaan ohjimen poikkipinta, kytkettävien ohjimien määrä, ohjimen materiaali ja eristys. Ohjimien ja kaapelien liitospisteisiin ei saa kohdistua mekaanista rasitusta. Kotelon, jonka sisässä liitokset tehdään, pitää antaa sopiva suojaus ulkoisilta olosuhteilta. (SFS 6000-5-52 2017)

Standardin SFS 6000-5-52 (2017) taulukon 52.2 mukaan keskuksen syöttö toteutetaan 1,5 mm<sup>2</sup> MMJ-kaapelilla. 24 / 48 V tasavirtapiirin kuormitusvirtaa I<sub>B</sub> suunniteltaessa selvitettiin yleisimpien markkina-alueella 1 käytössä olevien

kojeistojen moottoriohjainten moottorien nimellistehot. ABB:n SafePlus -kojeistossa (2018) on eri tehoisia moottoreita eri tyyppisiin kennoihin. Suurin moottoriteho on 180 W. Siemensin 8DJH -kojeiston (2017) moottorien teho on vain 80 W. Kolmantena vertailukohtana käytettiin Schneider Electricin SM6 -kojeistoa (2018), missä käytettävän moottorin teho on 200 W. 24 VDC järjestelmässä virran suuruudeksi saadaan 8,33 ampeeria.

Standardin SFS 6000-5-52 (2017) kappaleen 6.3.2 kaavan perusteella johdon kuormitettavuus pitää olla yhtä suuri tai suurempi kuin ylivirtasuojan nimellisvirta. SFS 6000-5-52 -standardin taulukon B.52.4 mukaan kuparisen 1,5 mm<sup>2</sup> PVC-eristetyn johtimen kuormitettavuus asennustavalla B1 on 17,5 A 30 °C lämpötilassa. Tämä kerrotaan keskuksen suunnitellulla lämpötilan 40 °C korjauskertoimella 0,87 (taulukko B.52.14) jolloin kuormitettavuudeksi saadaan 15,23 A. Keskuksen moottorilähtöjen johtimien poikkipintoina käytetään kuparista 1,5mm<sup>2</sup> johdinta.

Suojajohtimien poikkipinnoiksi laitteiden osalta valittiin 2,5 mm<sup>2</sup> kuparijohdin, koska nämä kulkevat johtokanavassa. Keskuskaapin suojajohdin, keskuksen oven suojajohdin ja pohjalevyn suojajohdin toteutetaan 4 mm<sup>2</sup> poikkipintaisella kuparijohtimella.

Keskuskaappiversioihin 1 ja 3 suunnitellaan asiakkaan liitinrajapinnaksi ruuvikiristeinen riviliitin. Kiristysmekanismiksi valittiin ruuvi markkinatutkimuksen (Netcontrol 2019b) perusteella, joka on esitetty kappaleen 6.2.1 kuvassa 13. Keskuskaappiversion 2 liitinrajapinta toteutetaan plugityyppisillä liittimillä. Tämä johtuen siitä, että plugi on nopea asentaa ja plugit voidaan koodata sopimaan vain tiettyyn liittimeen. Tämän kaltainen toteutus vaatii myös valmiin kaapelisarjan valmistamisen tietyille kojeistomalleille, joissa on joko asiakkaan määrittelemä tai standardi liitänärajpinta kojeiston osalta.

Kojeistojen kaapelointi tuodaan keskuskaapin sisälle kaapeliläpiviennin avulla. Keskuskaappiversiossa 1 läpivienti sijoitetaan keskuksen kattoon. Versioissa 2 ja 3 läpivienti suunnitellaan keskuksen pohjaan asiakkaiden määrittelemänä (Netcontrol 2019b).

### 6.3.2 Suojalaitteet

Suojalaitteita käytetään sähköiskulta suojaamiseen esimerkiksi automaattisen poiskytkennän avulla. Käytettävien laitteiden pitää soveltua erottamiseen standardin SFS 6000-4-46 mukaisesti. Käytettäviä suojalaitteita ovat muuan

muassa ylikuormitussuojat ja oikosulkusuojat (SFS 6000-5-53 2017). Ylikuormituslaukaisijalla varustetut katkaisijat, varokkeilla varustetut katkaisijat sekä gG-sulakkeilla varustetut varokkeet suojaavat sekä ylikuormitukselta, että oikosulkuvirroilta (SFS 6000-4-43 2017).

Ylivirtasuojat, joita käytetään sähköiskulta suojaamiseen valitaan standardin SFS 6000-4-43 ja SFS 6000-5-53 mukaisesti. Standardin SFS 6000-4-43 kohdan 431.1.1 mukaan kaikki äärijohtimet varustetaan ylivirtasuojalla. Ylikuormitussuojan nimellisvirta  $I_n$  valitaan standardin SFS 6000-4-43 ja kohdan 433.1 mukaisesti.

Kaapelia suojaavan suojalaitteen pitää täyttää kaavan (4) ja (5) ehdot. Kaavoissa  $I_B$  on piirin suunniteltu kuormitusvirta,  $I_n$  on suojalaitteen nimellisvirta ja  $I_z$  on johtimen kuormitettavuus.  $I_2$  on virta-arvo, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen sille määritellyssä toiminta-ajassa. Tämä arvo saadaan laitevalmistajalta. (SFS 6000-4-43 2017)

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (4)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (5)$$

Ylikuormitussuoja voidaan standardin SFS 6000-4-43 (2017) kohdan 433.2.2 mukaan sijoittaa mihin tahansa kohtaan johtoa, ellei johtoa haaroiteta ja johto on enintään kolme metriä pitkä ja oikosulun mahdollisuus on pieni, eikä lähellä sijaitse palavaa ainetta. Ylikuormitussuoja voidaan kohdan 433.3.1 mukaan jättää pois johdon muutoskohdan kuormituspuolelta, jos syötön suojalaitteella saadaan aikaan johdon riittävä ylikuormitususojaus. Ylikuormitussuojaa ei vaadita myöskään merkinantoon, ohjaukseen tai tietoliikenteeseen käytettävissä asennuksissa.

Suunniteltavasta keskuksesta syötetään muun muassa RMU-kojeiston kuormaerottimien moottoriohjaimia. Sähkömoottorit varustetaan erillisellä ylikuormitussuojalla, joka suojaa moottoria sekä syöttävää johtoa ylikuormittumiselta. (STUL 2013 s.321)

Standardin SFS-EN 61439-1 (2011) suosituksesta käytetään jokaiselle moottoripiirille omaa suojalaitetta, jotta saavutetaan selektiivinen ja jatkuva toiminta. Ratkaisulla mahdollistetaan myös jokaisen moottorinsyöttöpiirin katkaisu ilman erillistä estetty / sallittu -kytkintä.

Kappaleen 6.3.1 kuormavirran ja johdon kuormitettavuuden nojalla ylivirtasuojan nimellisvirraksi valitaan kaavan (4) mukaan 10 A. Laukaisukäyräksi valitaan C-käyrä, koska syötetään moottoreita.

Ylijännitesuojalla suojaudutaan esimerkiksi ilmastollisia transienttiylijännitteitä vastaan sekä kytkentäylijännitteitä vastaan (SFS 6000-4-44 2017). Ylijännitesuojat asennetaan mahdollisimman lähelle liittymiskohtaa. Sähköverkon kautta tulevilta kytkentäylijännitteiltä sekä salaman aiheuttamilta transienteilta suojaamiseen käytetään tyyppin 2 ylijännitesuojaa standardin SFS 6000-5-53 (2017) kohdan 534.4.1 mukaan.

Asennuksien suojaamiseksi lähelle kuormitusta, esimerkiksi jakokeskukseen tai pistorasiaan voidaan tarvita tyyppin 2 tai 3 ylijännitesuoja. Näitä suojia ei saa käyttää ilman liittymiskohtaan asennettua ylijännitesuojaa. Liittymispisteessä tai pääkeskuksessa käytetään tyyppin 1 tai 2 suojaa. Jakokeskuksissa käytetään tyyppin 2 tai 3 suojaa sekä lähellä herkkiä laitteita voidaan käyttää tyyppin 2 tai 3 ylijännitesuojia. Ylijännitesuoja kytketään tarvittaessa apusähkösyötön rinnalle, jolloin syöttö ei katkea suojan toimittua. Jotta standardin SFS 6000-4-41 mukainen vikasuojaus säilyy tehokkaana ylijännitesuojan vioittuessa, ylivirtasuojaa asennetaan ylijännitesuojan syötön puolelle TN-järjestelmissä.

Standardin SFS 6000-4-46 (2017) kohdan 463.2 mukaan ohjausvirtapiirit on suunniteltava siten, että vältetään vaaroja, jotka aiheutuvat ohjausvirtapiiriin viasta ja, jotka voivat aiheuttaa ohjattavan laitteen virhetoiminnon. Esimerkiksi kohdan 463.3.1 mukaan moottorien ohjausvirtapiirien pitää estää moottorin automaattinen uudelleen käynnistyminen moottorin pysähtyttyä liian pienen jännitteen tai sen katoamisen takia. Tämä toteutetaan keskuksessa releellä, joka avaa moottorin syöttöjännite piirin, kun jännite piirissä laskee alle 21 V.

### 6.3.3 Teholähde

Keskukseen suunnitellaan teholähde, joka toimii myös akuston varaajana. Kun suljettuja lyijyakkuja varataan vaihtelevassa lämpötilassa, varaaja pitäisi varustaa jännitteen lämpötilakompensoinnilla. Muita hyödyllisiä ominaisuuksia ovat: alijännitehälytys, ylijännitehälytys, akkusulakehälytys, varaajavikahälytys ja automaattinen akkutestaus. (Sähkötieto 2016a)

Varaaja mitoitetaan siten, että syötettäessä 100 % kuormaa kyetään edelleen jälleen varaamaan purkautunutta akustoa. Tämä tarkoittaa noin 20 A / 100 Ah virtaa. Minimivarausvirtana pidetään 5 A / 100 Ah. (Sähkötieto 2016a)

Tässä työssä keskukseen on suunniteltu erillinen 100 W:n yhdistetty teholähde ja akuston latauslaite. Ulostulojännite on 27,6 V ja maksimi ulostulovirta on 3,5 A jolloin varausvirta 24 Ah:n akustolla on noin 14,6 A / 100 Ah. Tämä latauslaite ei täytä suojajännitelähteelle asetettuja vaatimuksia, mutta sen käämien välillä on erotus, jolla täytetään standardin SFS 6000-4-41 (2017) kohdan 411.7.4 vaatimukset FELV-piirien (engl. Functional Extra Low Voltage) teholähteestä.

### 6.3.4 Akusto

Akustolla varmistetaan kaukokäytön katkoton sähkösaanti tilanteissa, joissa apusähköä ei ole saatavilla. Tällaiset paikalliskakut on suunniteltu kestävän jatkuvaa ylläpitolatausta useiden vuosien ajan. Perinteinen akkutyypin tällaisissa ratkaisuissa on suljettu lyijyakku. Ne ovat luotettavia ja käyttöikä on pitkä. Tämän akkutyypin haittana on haastava kunnonvalvonta. (Sähkötieto 2016a)

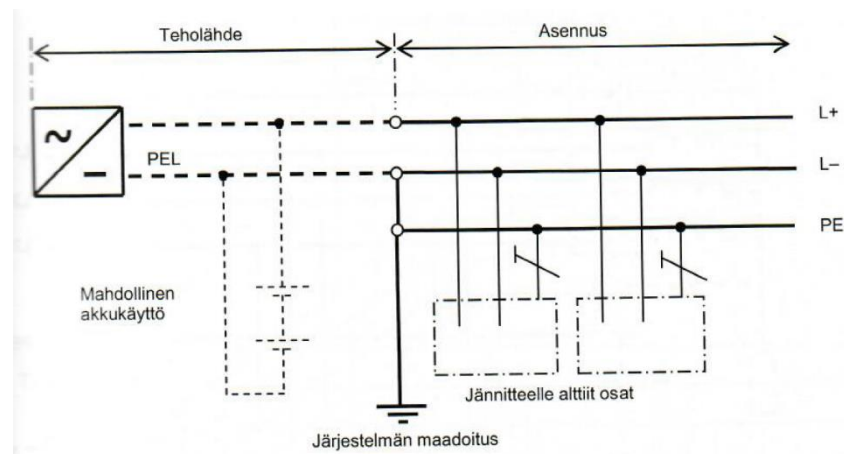
Akku mitoitetaan vakiotehokuormalle. Mitoituksen lähtötietona tarvitaan DC-teho, varmistusaika, minimijännite ja kennolukumäärä. Mitoitus tehdään valitsemalla valmistajan taulukosta akku, jonka tehonantokyky kattaa laitteiden tehon tarpeen vaaditun varmistusajan. Kapasiteetin väheneminen voidaan huomioida mitoitusvaiheessa kertomalla varmistusaika luvulla 1,25. Akuston vaihtorajana pidetään 80 % sen kapasiteetista. (Sähkötieto 2016a).

Standardin 6000-5-55 (2017) kohdan 551.8 mukaan kiinteiden akustojen liitokset varustetaan eristyksellä tai koteloinnilla. Myös ST-kortissa 52.30.02 (Sähkötieto 2016b) kehoitetaan suojaamaan navat suuren oikosulkutehon takia. Kosketussuojan tulisi mahdollistaa jännitteenmittaus suoja poistamatta. Akuston johtimet asennetaan eristävään kaapelikouruun tai käytetään kaksoiseristettyä kaapelia (Sähkötieto 2016b). Akusto, jossa ei käytetä kosketussuojattuja napoja, sijoitetaan sähkötilaan ja varustetaan näkyvällä kilvellä, jolla varoitetaan akuston ja maan sekä akuston napojen välisestä kosketusjännitevaarasta (STUL 2013 s. 323). Standardi SFS-EN IEC 62485-2:2018 määrittelee perusmenetelmät paikalliskakustojen suojaukseen joiden suurin nimellisjännite on 1500 V. Paikalliskakuasennukset varustetaan perussuojauksella tai vikasuojauksella tai näiden yhdistelmällä. Suojausmenetelmät on määritelty standardissa IEC 60364-41 (SFS 6000-4-41 2017).

Akuston oikosulku- ja ylikuormitussuojaus toteutetaan kaksinapaisesti johdonsuojakatkaisijalla. Suojalaite asennetaan mahdollisimman lähelle akustoa,

tällä voidaan myös hallitusti erottaa akusto esimerkiksi huoltotoimenpiteen ajaksi (Sähkötieto 2016b). Akuston syöttämästä piiristä suojataan kaikki jännitteiset osat niiden jännittetasosta riippumatta. Akuston piirit, joiden jännite on enintään 120 V ja joiden latauslaitteet eivät toteuta suojajännitelähteen vaatimuksia, ovat FELV-piirejä (STUL 2013 s. 323).

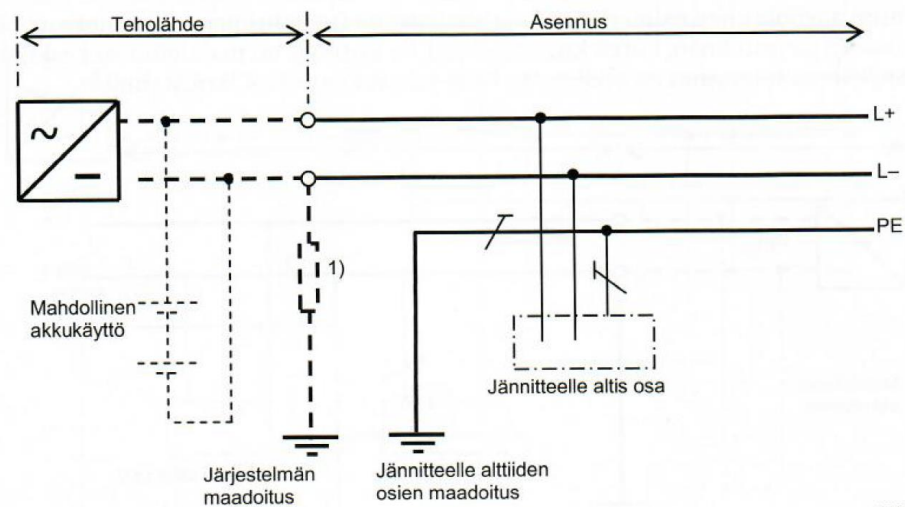
FELV-piirillä tarkoitetaan suojausta toiminnallisella pienenjännitteellä, kun ei täytetä esimerkiksi SELV-piirin (engl. Safety Extra Low Voltage) vaatimuksia tehonlähteen suojaerotuksesta ja piirin rakenteesta. FELV-piirissä perusuojaus toteutetaan eristyksellä, joka vastaa ensiöpiirin tehonlähteen ensiöpiirin nimellisjännitettä sekä kotelointiluokan IP2X tai IPXXB (engl. International Protection) mukaisilla suojuksilla ja koteloinneilla (SFS 6000-4-41 2017).



**Kuva 17. TN-S -tasasähköjärjestelmä (SFS 6000-1 2017)**

Vikasuojaus toteutetaan kytkemällä jännitteelle alltiit osat ensiöpiirin suojajohtimeen (kuva 17) edellyttäen, että ensiöpiirin suojaus on toteutettu syötön automaattisella poiskytkennällä. Kuvassa 17 on esitetty TN-S -järjestelmä missä äärijohtin L- on kytketty järjestelmän maadoitukseen. (SFS 6000-1 2017 s. 60)

IT-järjestelmässä kaikki järjestelmän jännitteiset osat on eristetty maasta. Sähkölaitteen jännitteelle alltiit osat voidaan suojamaadoittaa ryhmissä tai yhteisesti (SFS 6000-4-41 2017 s.78). IT-järjestelmässä yksi piste voidaan yhdistää maahan suuren impedanssin välityksellä (kuva 18). (SFS 6000-1 2017 s.58)



**Kuva 18.** IT-tasasähköjärjestelmä (SFS 6000-1 2017)

Markkinatutkimuksen tuloksena (Netcontrol 2019b) saatiin akuston varmistusajan keskiarvoksi 43 tuntia (kuva 13), vastausten ollessa väliltä 12 - 72 tuntia. Tämän perusteella akuston kapasiteetiksi mitoitetaan 28 Ah. Tasasähköjärjestelmä on 24 V:n piiri, joten järjestelmään on suunniteltu kaksi sarjaan kytkettyä 12 V akkuyksikköä. Valittu akku on AGM-tyyppinen (engl. Absorbent Glass Matt) akku, sen suunniteltu elinkaari on 8 vuotta. Akun suositeltu maksimi varausvirta on 8,4 A. Maksimi purkausvirta (5 sek) on 280 A.

### 6.3.5 Optiot ja lisälaitteet

Aiemman tuotteen osalta optioita ja lisälaitteita on ollut valittavissa yksitellen useita eri kappaleita. Tämän seurauksena on muodostunut useita eri asiakaskohtaisia variaatioita, joiden dokumentaatio, valmistus sekä myynti- ja ostoprosessi on ollut haasteellista.

Tämän diplomityön puitteissa tehtyjen haastattelujen perusteella ehdotetaan, että uuden tuotteen osalta suunnitellaan ja valmistetaan vain kahta eri versiota. Ensimmäinen versio on niin sanottu vakiokokoonpano, johon kuuluu ainoastaan välttämättömimmät kojeet ja komponentit. Toinen versio on vakiokokoonpano lisättyinä optioilla.

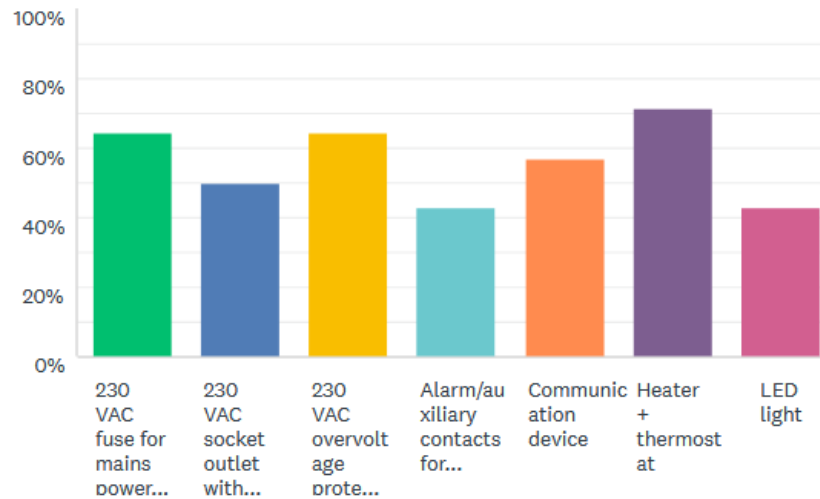
Haasteena tässä kahden version ratkaisussa on se, että optiokokoonpano saattaa sisältää kojeita, jotka loppuasiakas kokee tarpeettomiksi, jos tarve on vain yhdelle tai osalle optioista. Tämän ratkaisun etuina on kuitenkin helpompi myynti ja asiakkaiden yksinkertaisempi ostoprosessi. Toimituksia on myös helpompi valmistella etukäteen, jolloin lopputuote on myös nopeampi valmistaa.

Aiemman automaatiotuotteen mukana tarjottavia optionaalisia lisälaitteita ovat olleet muun muassa:

1. 230 VAC syötön johdonsuoja
2. 230 VAC pistorasia ja vikavirtasuoja
3. 230 VAC syötön ylijännitesuoja
4. Johdonsuojien apukoskettimet
5. Liikennöintilaitte (modeemi/radio)
6. Lämmitin ja termostaatti
7. LED-valaisin

Uuden tuotteen osalta vaadittavat kojeet optiokokoonpanoon selvitettiin markkinatutkimuksen avulla (kuva 19). Vastauksia voidaan pitää tasaisena, kaikkien optioiden saadessa 71 - 43 prosenttia vastauksista. Yksikään lisälaitte ei osoittautunut täysin turhaksi, jolloin sen olisi voinut jättää pois myös optiokokoonpanosta. Toisaalta yksikään vaihtoehtoista ei saanut täyttä 100:aa prosenttia, jolloin se olisi pitänyt olla osa vakiokokoonpanoa.

Kuvasta 18 nähdään, että suurimman osuuden optioista sai kaapin lämmitys termostaatilla varustettuna (71 %). Aiemman tilaushistorian perusteella tiedetään kuitenkin, että on paljon asiakkaita, jotka tilaavat ilman lämmitystä, joten sitä ei lisätä osaksi vakiokokoonpanoa.



**Kuva 19.** Kyselytutkimus - lisälaitteet (Netcontrol 2019b)

Suoritettujen vierailujen ja haastattelujen perusteella voidaan sanoa, että kaappiin lisättävän 230 VAC syöttöjännitteen johdonsuojan koetaan parantava laitteen käyttöä ja helpottavan etenkin huoltotilanteita. Kyselyssä kyseinen optio sai 64 prosentin osuuden (kuva 19), mutta silti se on päätetty lisätä osaksi vakiokokoonpanoa haastattelujen perusteella. Muut kojeet lisätään osaksi optiokokoonpanoa.

Pistorasia jätetään pois optiokojeista tilan puutteen vuoksi. Muuntamon pienjännitekeskuksessa on usein pistorasia, tai ainakin mahdollisuus ja paremmin tilaa lisätä se.

## 6.4 Suunnitteludokumentaatio

Suunnitteludokumentaation ja kaavioiden osalta on sovellettava standardia SFS-EN 61082-1 (2015) Sähkötekniikassa käytettävien dokumenttien laatimisesta. Standardissa esitetään säännöt ja ohjeet dokumenteissa esitettävälle informaatiolle, sekä erityissääntöjä sähköteknisille kaavioille, piirustuksille ja taulukoille. Sähköasennusten dokumentoinnista pitää ilmetä erityisesti virtapiirien laji ja rakenne, pitäen sisällään kulutusasteiden sijainnin, johtimien lukumäärä ja koko ja johtojen tyyppi. (SFS 6000-5-51 2017)

Dokumentaatioissa esitettävä informaatio pitää olla yksikäsitteistä ja soveltua tarkoituksen mukaiseen käyttöön. Dokumenttien sivut on merkittävä tunnisteella, ja mahdollisessa viittaustilanteessa on käytettävä ensin sivun viitettä ja lisäksi

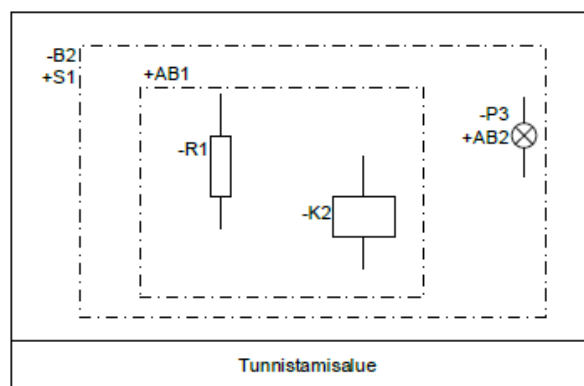
saraketta ja riviä. Vähintään sivun alareunassa on oltava dokumentin tunnistamisalue, jossa on dokumentin tunnistamiseen ja luokitteluun liittyvää informaatiota. Viitattaessa toiseen dokumenttiin, käytetään dokumentin tunnistetta ensimmäisenä informaationa viitteessä.

### 6.4.1 Piirikaaviosuunnittelu

Piirikaaviossa annetaan informaatiota laitteiden fyysisistä liitännöistä ja komponenttien keskinäisestä vaikutuksesta. Piirikaavio auttaa sen lukijaa ymmärtämään laitteen toiminnan. Piirikaavio sisältää komponenttien piirrosmerkit ja viitetunnukset, liitännäiviivat ja liitintunnukset, sekä kulkureittien ja piirien etsimiseen tarvittavaa informaatiota, kuten signaalitunnukset ja sijaintiviitteet. (SFS-EN 61082-1 2015)

Piirikaaviossa korostetaan signaalin kulkua pyrkimällä asettamaan piirrosmerkit riviin ja pitämällä liitännäiviivat suorina. Toiminnallisesti verrannolliset komponentit pyritään ryhmittelemään yhteen. Piirrosmerkkeinä käytetään IEC 60617 -standardin mukaisia merkkejä. Kaapelien johtimet yksilöidään viitetunnuksilla, esimerkiksi kaapelivalmistajan antamilla johdinnumeroilla tai johtimien värien standardin mukaisilla väriä vastaavilla koodeilla.

Rajauskehys on piirustustapa, jonka avulla voidaan esittää ja rajata tietty kohde piirikaaviossa. Rajauskehys on pistekatkoviiva (kuva 20) ja se merkitään myös viitetunnuksella. Viitetunnus sijoitetaan rajauskehysten ulkopuolelle vasempaan yläkulmaan. (SFS-EN 61082-1) Rajauskehysten avulla voidaan eritellä esimerkiksi RTU-laite ja keskijännitekojeisto samassa piirustuksessa eri kohteina.

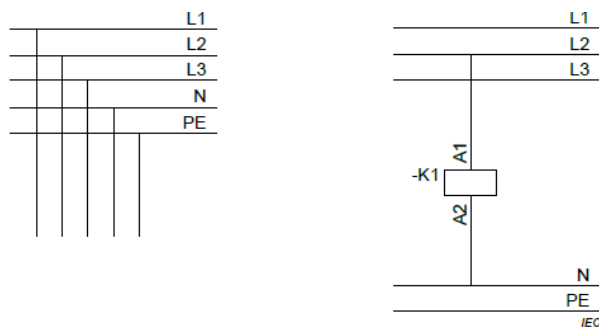


**Kuva 20.** Rajauskehysten käyttö (SFS-EN 61082-1 2015)

Liitintunnukset sijoitetaan piirrosmerkkien ulkopuolelle lähelle liitintä esittävää osaa. Liitintunnus sijoitetaan vaakasuoran liitäntäviivan yläpuolelle ja pystysuoran liitäntäviivan vasemmalle puolelle, samoin kuin signaalitunnukset. Signaalitunnukset on kuitenkin erotettava liitäntäviivan viitetunnuksesta.

Piirikaaviossa komponentit, jotka sisältävät liikkuvia osia, kuten releiden ja kontaktorien koskettimet, erottimet ja katkaisijat, esitetään ne aina sähköttömässä tilassa, tai OFF-asennossa. Muut kytkinlaitteet, kuten ohjauskytkimet joilla ei ole OFF-asentoa, merkitään ne määritellyssä asennossa tai annetaan kaaviossa erillinen selitys vallitsevasta asennosta. Piirrosmerkkien välisen mekaanisen yhteyden esittämiseksi voidaan käyttää katkoviivaa. Piirikaaviossa piirrettäville komponenteille pitäisi suosia vapaata esitystapaa, eli sijoittamalla komponentit selkeästi ilman risteäviä piirejä.

Sähkönsyöttöpiirit esitetään vaihtosähköpiireissä vaihekohtaisesti ylhäältä alas, tai vasemmalta oikealla järjestyksessä: L1, L2, L3, N ja PE. Tasasähköpiirit esitetään myös ylhäältä alas, tai vasemmalta oikealla ja positiivisesta negatiiviseen merkinnöin: L+ ja L-. Liitäntäviivat piirretään vierekkäin tai piirihaarojen vastakkaisille puolille. Kuvassa 21 on esitetty vaihtosähkösyöttöpiirin kaksi eri esitystapaa, vasemmalla vaihtosähköpiirin johtimet päällekkäin ja rinnakkain ja oikealla N ja PE -johtimet on piirretty piirihaaran vastakkaiselle puolelle.



**Kuva 21.** Vaihtosähkösyöttöpiirin esitys (SFS-EN 61082-1 2015)

Netcon 200 -tuotteen osalta suunnitellaan eri kojeistoista riippumattomat universaalit piirikaaviot. Liitteessä A on esitetty kojeistosta riippumaton I/O-yksikön ja riviliittimien välinen piirikaavio. Liitteen A piirikaaviota on tarkoitus

täydentää kojeiston liitântäpisteillä. Toimituksesta riippuen voidaan asiakkaille räätälöidä kojeistokohtaiset piirikaaviot.

## 6.4.2 Layout-suunnittelu

Layout-piirustuksessa, eli sijaintipiirustuksessa esitetään komponenttien suhteellinen tai todellinen sijainti. Sijaintipiirustukseen sisällytetään komponenttien yksinkertaistetut muodot tai piirrosmerkit, viitetunnukset ja etäisyydet. (SFS-EN 61082-1 2015)

Komponentit asennetaan keskuskaapin pohjalevyyn, jotta vältetään mahdollisimman paljon standardilaitekaappien muutostyötä, esimerkiksi keskuksen oven ja seinien rei'ityksiltä. Näillä on vaikutus kaapin hintaan, valmistusnopeuteen ja keskuskaapin IP-luokitukseen.

Osana tätä työtä on suunniteltu ja piirretty liitteen B mukainen keskuskaapin layout-kuva. Keskuksen kojeiden ja komponenttien sijoittelussa on keskitytty hyvään asennettavuuteen ja käytettävyyteen sekä yksinkertaisuuteen. Kojien ja komponenttien valinnassa on keskitytty kustannustehokkuuteen. Kaappi kalustetaan ja johdotetaan valmiiksi valmistajan osalta siltä osin kuin mahdollista. Asiakas kytkee keskukseen sähkönsyötön, kojeiston I/O-kaapelit ja antennin liikennöintiä varten. Tavoitteena on, että asiakaan kytkennät tehdään yhdelle ja samalle vertikaaliselle DIN-kiskolle kalustetuille kojeille, jotka sijaitsevat lähimpänä keskuksen läpivientilaippaa. Kaapin sisällä tapahtuvaa I/O-kaapeleiden kytkentää varten on jätetty reilusti lisätilaa.

Markkinatutkimuksen (Netcontrol 2019b) tuloksena moottoripiirien suojaus toteutetaan erillisillä moottorikohtaisilla moottoripiirin johdonsuojilla. Tätä tapaa puoltaa myös standardin kehoitus selektiivisestä suojauksesta. Moottorikohtaisilla johdonsuojilla voidaan lisäksi erottaa yksittäisen moottoriohjaimen virransyöttö, jolla voidaan käyttötilanteessa korvata erillinen moottorikohtainen kytkin, joita on asennettuna esimerkiksi ala-asemakaappien ovesa.

Markkinatutkimuksen (Netcontrol 2019b) mukaan tärkein lisälaitte on keskuksen lämmityslaitte (kuva 19). Lämmittimen tarkoituksena on poistaa mahdollisesti syntyvä kosteus sekä estää akustoa jäätymiseltä. Edellisessä keskusversiossa lämmityskaapeli kiertää keskuskaappia vertikaalisesti. Uuden suunnitelman mukaan kaapin pohjalle lisätään tarvittaessa horisontaalinen lämmityskaapeli, joka on helpompi asentaa ja lämmityskaapelin pituus voi olla lyhyempi. Toisena

vaihtoehtona on DIN-kisko kiinnitteisen lämmityselementin käyttö, joka voitaisi sijoittaa esimerkiksi keskuksen alaosassa sijaitsevan akuston taakse.

Kaappiin kiinnitettävän arvokilven tietoihin merkitään valmistajaksi Netcontrol, tyyppimerkintä on tuotteen malli. Arvokilpeen lisätään myös laitteen sarjanumero ja valmistusvuosi ja -kuukausi. Sovellettu standardi on IEC 61439-2. (EN 61439-1 2011)

### **6.4.3 Liitântätaulukko**

Liitântätaulukko on dokumentti, jossa esitetään komponenttien ja eri yksiköiden väliset fyysiset liitännät. Taulukossa pitää esittää johtimen ja kaapelin informaatiota, esimerkiksi tyyppitunnus, koko, materiaali ja eristeen väri.

Taulukossa esitetään lisäksi johtimen ja kaapelin numero tai viitetunnus, sekä kaapelilla yhdistettävien laitteiden viite- tai liitintunnus. Liitântätaulukkoon voidaan halutessa lisätä liitännän pituus ja mahdollinen erityisluokittelu tai erityisinformaatio.

Liitântätaulukossa voidaan kuvata laitteen sisäisiä liitântöjä tai ulkoiseen laitteeseen tehtävät liitännät. Tämän työn osalta on käytetty liitântätaulukkoa, jossa kuvataan liitännät automaatiokeskuksesta ulkoiseen laitteeseen, tässä tapauksessa keskijännitekojeistoon. (SFS-EN 61082-1 2015)

## 7. YHTEENVETO

Sähkönjakeluverkko ja sen kehittäminen ovat parhaillaan murrosvaiheessa. Sähköverkkoyhtiöt investoivat enenevässä määrin verkon automaatioasteen kasvattamiseen. Automaatioasteen kasvattamisella mahdollistetaan tarkemman tiedon saanti sähköverkon reaaliaikaisesta tilasta sekä verkon sujuvampi hallinta. Tietoa verkon tilasta voidaan edelleen hyödyntää sähkön toimitusvarmuuden parantamiseen ja sähkön laadun parantamiseen. Automaatioasteen kasvattaminen helpottaa kaksisuuntaisen tehonsiirron toteuttamista sähköverkossa, joka on edellytys sähkövarastojen ja uusiutuvan energian tuotantolaitosten lisäämiseksi osaksi sähköjakeluverkkoa.

Tässä diplomityössä esiteltiin Netcontrolin jakeluverkon hallintaan ja monitorointiin kehittämä kaukokäytön ala-asema -laite: Netcon 200. Osana tätä diplomityötä kerättiin vaatimuksia ja suunniteltiin muuntamoille asennettava automaatiokeskus, johon Netcon 200 -laite kalustetaan. Kirjallisuustutkimuksen pohjalta selvitettiin vaadittavat ja sovellettavat eurooppalaiset ja kansalliset standardit sekä viranomaisvaatimukset, jotka velvoittavat sähkölaitteen valmistajaa.

Tietoa asiakkaiden teknisistä vaatimuksista kerättiin kyselymuotoisen markkinatutkimuksen (Netcontrol 2019b) avulla. Suunniteltu automaatiokeskus täyttää pienjännitekeskusstandardin IEC 61439-2 mukaiset vaatimukset ammattikäyttöön tarkoitetuille kojeistoille. Kyseinen standardi on hyväksytty myös eurooppalaiseksi EN-standardiksi. Pienjännitesähköasennusten osalta automaatiokeskus täyttää soveltuvien osin suomalaisen SFS 6000 -standardisarjan vaatimukset.

Aiempien kokemusten perusteella tässä työssä esitellyn RTU-laitteen edeltäjän ja sen ympärille suunnitellun keskuksen dokumentaatio oli hankalasti hallittava ja työläs ylläpitää. Osana tätä työtä syntyneen dokumentaation osalta haluttiin pyrkiä sujuvaan ja nopeampaan ylläpitoon ja selkeään dokumentaatioon. Ideana on ollut jatkokehittää myös ohjeistusta dokumentaation ylläpitoon.

Liitteissä A ja B on esitetty osana tätä työtä syntyneet keskuksen layout-suunnitelma sekä osa keskuksen piirikaaviosuunnittelusta. Näiden suunnitelmien perusteella ja kappaleessa 6 esitettyjen vaatimusten ja mitoitusten perusteella on

valmistettu prototyyppi lopputuotteesta yhdelle yrityksen toimimista markkina-alueista. Tuote on julkaistu helmikuussa 2020.

Tämän työn kappaleet 4 ja 6 toimivat ohjeistuksena muille suunnittelijoille ja tuotehallinnolle. Kappaleissa on esitetty mitä standardeja on sovellettu suunnittelutyössä ja mihin standardin kohtiin tietyt suunnitteluvalinnat perustuvat.

Tämän diplomityön osana tehdyn keskussuunnittelun lopputulos ei välttämättä täytä kaikkien asiakkaiden tai eri markkina-alueiden vaatimuksia. Myöhemmin on tarvetta todennäköisesti suunnittelun ja valmistuksen osalta edelleen asiakaskohtaiselle räätälöinnille. Muille markkina-alueille tullaan myös suunnittelemaan erilainen, kyseisen markkinan vaatimukseen perustuva automaatiokeskus.

Osana tätä työtä on syntynyt paljon ideoita, joita ei ole käsitelty tässä työssä laajuuden ja ajan säästämisen takia. Tässä kappaleessa on käsitelty muutamia suunnittelutyöhön liittyviä asioita ja esiin nousseita ideoita, mitä on tarkoitus jatkaa ja kehittää myös tulevaisuudessa.

Piirikaaviosuunnittelun helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi on tarkoitus luoda muun muassa AutoCAD Electrical -moduulikirjasto Netcon 200 -yksiköistä. Näiden käytöstä luodaan sisäinen ohjeistus, jonka avulla suunnittelijoiden on helppo muokata niin sanotusta vakiodokumentaatiosta asiakaskohtaisesti räätälöityä dokumentaatiota.

Räätälöinnin helpottamiseksi optiolaitteet luodaan piirikaavoiden ja layout-piirustuksen osalta piirustustasoille, mikä mahdollistaa piirustusten nopeamman ja yksinkertaisemman muokkauksen räätälöityihin toimituksiin. Tästä on oltava selkeä rakenne ja ohjeistus muille henkilöille, jotta dokumentaation päivitys ja ylläpito helpottuu ja, että se on mahdollista jakaa useammille henkilöresursseille.

Tuotedokumenttien sähköinen toimittaminen asiakkaalle toimituksen yhteydessä on asia, jota digitaalisena aikakautena odotetaan ja vaaditaan asiakkaiden suunnalta. Ratkaisulle on kaksi lähestymistapaa: 1. Automaattinen dokumenttien lähetys asiakkaalle, kun toimitus on kirjattu tuotannonohjausjärjestelmässä toimitetuksi. 2. Asiakkaan osallistaminen, esimerkiksi yrityksen verkkosivuilla sijaitsevasta asiakasportaalin avulla. Portaalista asiakas voisi sisäänkirjautuneena ladata tarvitsemaansa tuotedokumentaatiota.

Yksi tulevaisuuden tavoitteista on suunnittelu yhteistyön kehitys yhdessä esimerkiksi muuntamovalmistajien kanssa. Tällä mahdollistetaan optimaalinen ja parempi asennettavuus muuntamotehtaalla, jolloin loppu asiakkaalle toimitetaan

valmis testattu kokonaisuus, eli muuntamo primäärilaitteineen varustettuna ja kytkettynä osaksi muuntamoautomaatiojärjestelmää. Tarkoituksena on myös tehdä jatkotutkimusta muiden markkina-alueiden (2 ja 3) vaatimuksista ja versioda sekä suunnitella näille markkina-alueille oma keskusversionsa.

# LÄHTEET

ABB. (2013). Distribution Automation Handbook, ABB. Saatavissa: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS757959&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB. (2018). SafeRing/SafePlus 12-24kV; Gas-insulated ring main unit SafeRing and Compact switchgear SafePlus. ABB. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/59510b0449844bc4bdb663d3473608a2/1VDD006104\\_Catalogue\\_SR-SP-24kV\\_07-2018.pdf](https://library.e.abb.com/public/59510b0449844bc4bdb663d3473608a2/1VDD006104_Catalogue_SR-SP-24kV_07-2018.pdf)

Caruna. (2015). Maakaapelointi parantaa sähkön toimitusvarmuutta. Artikkel. Saatavissa: <https://www.caruna.fi/ajankohtaista/maakaapelointi-parantaa-sahkon-toimitusvarmuutta>

Cenelec. (2019). Smart Grids. Saatavissa: <https://www.cenelec.eu/standards/Sectorsold/SustainableEnergy/SmartGrids/Pages/default.aspx>

EC - European Commission. (2009a). 2020 climate & energy package. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en)

EC - European Commission. (2009b). Directive 2009/28/EC. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32009L0028>

Elovaara J., Haarla L. (2011). Sähköverkot II. Otatieto.

Elovaara J., Laiho Y. (1988). Sähkölaitostekniikan perusteet. Otatieto.

Energiavirasto. (2014). Määräys sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmasta. dnro 823/002/2013.

Energiavirasto. (2018). Sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmasta annetun määräyksen ja tähän liittyvien sähkömarkkinalain säännösten tulkintaohje. dnro 1357/002/2018.

Energiavirasto. (2019). Sähkö- ja maakaasuverkkotoiminnan kehittäminen. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-kehittaminen>

Ensto. (2019). Verkostoautomaatio rajaa ilmajohtoverkon viat. Saatavissa: <https://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/referenssit/verkostoautomaatio-rajaa-ilmajohtoverkon-viat/>

ETSI. (2018). Understanding ICT Standardization: Principles and Practice. Saatavissa: [https://www.etsi.org/images/files/Education/Understanding\\_ICT\\_Standardization\\_LoResWeb\\_20190524.pdf](https://www.etsi.org/images/files/Education/Understanding_ICT_Standardization_LoResWeb_20190524.pdf)

EU. (2014). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/35/EU. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0035>

- Fingrid. (2019). Älyverkot. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/kehityshankkeet/alyverkot/>
- Future. (2018). AutoCAD Electrical 2019 -perusteet. Future Group Oy.
- Gers J. M., Holmes E. J. (2011). Protection of Electricity Distribution Networks. Institution of Engineering and Technology.
- Harju Elekter. (2019). Prefabricated Substations HEKA. Saatavissa: [https://www.harjuelekter.com/sites/default/files/tooteleht\\_heka\\_veeb\\_eng.pdf](https://www.harjuelekter.com/sites/default/files/tooteleht_heka_veeb_eng.pdf)
- IEEE. (2010). An Overview on the Smart Grid Concept. Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.libproxy.tuni.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5675310>
- IEEE. (2012). IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices.
- Kumpulainen L., Hyvärinen M., Trygg P., Pettissalo S., Malmberg K., Loukkalahti M. (2011). Secondary Substation Monitoring and Control - Practical benefits through intelligent components and systems. CIRED.
- Netcontrol. (2019a). About us. Saatavissa: <https://www.netcontrol.com/about-us/working-at-netcontrol>
- Netcontrol. (2019b). Market Research - RTU Cabinet Requirements.
- Netcontrol. (2019c). Tuotekehitys osaston haastattelut. Helsinki 2019.
- Netcontrol. (2019d). Netcon 100, Installation and Operation Manual.
- Partanen J., Viljainen S., Lassila J., Honkapuro S., Tahvanainen K., Järventausta P., Mäkinen A., Trygg P., Kivikko K., Antila S., Toivonen J., Kulmala H.I., Antola J. (2005). Raportti: Palveluliiketoiminnan kehittymismahdollisuudet sähköverkkoliiketoiminnassa. Lappeenranta.
- Schneider Electric. (2018). SM6 modular units; Air insulated switchgear up to 36kV. Saatavissa: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=SM6\\_AMTED398078EN\\_0918.pdf&p\\_Doc\\_Ref=AMTED398078EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=SM6_AMTED398078EN_0918.pdf&p_Doc_Ref=AMTED398078EN)
- SFS-EN IEC 62485-2. (2018). Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikalliset. Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN 61439-1. (2011). Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset. Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN 61439-1/AC. (2013). Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset. Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN 61439-2. (2011). Pienjännitekeskukset. Osa 2: Ammattikäyttöön tarkoitetut kojeistot. Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN 61082-1. (2015). Sähkötekniikassa käytettävien dokumenttien laatiminen. Osa 1: Säännöt. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-1. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-4-41. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-4-43. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-4-44. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-4-46. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-46: Suojausmenetelmät. Erottaminen ja kytkentä. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-5-51. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-51: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-5-52. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-5-53. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-53: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Erottaminen kytkentä ja ohjaus. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 6000-5-54. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Suomen standardisoimisliitto.

Siemens. (2017). Switchgear Type 8DJH for Secondary Distribution Systems up to 24 kV, Gas-Insulated Medium-Voltage Switchgear. Saatavissa: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:60f3dbd7588876438a66d3503921eedeadc95ad2/version:1530694391/8djhcompact-en-cataloge.pdf>

Siirto O. (2016). Distribution Automation and Self-Healing Urban Medium Voltage Networks. Aalto University. Helsinki.

Sähkötieto. (2016a). ST 52.30.02 Akustot ja Varaajat. Valinta ja mitoittaminen. Sähköinfo Oy.

Sähkötieto. (2016b). ST 52.30.03 Akuston asennus ja käyttöönotto. Sähköinfo Oy

STUL. (2013). D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähköinfo Oy.

Sähkömarkkinalaki. (2013). 588/2013. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>

Sähköturvallisuuslaki. (2016). 1135/2016. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>

Technical Specification for Secondary Substation RTU. (2019). Asiakkaan tekninen spesifikaatio.

Tukes. (2016). Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta (1437/2016). Saatavissa: <http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20161437>

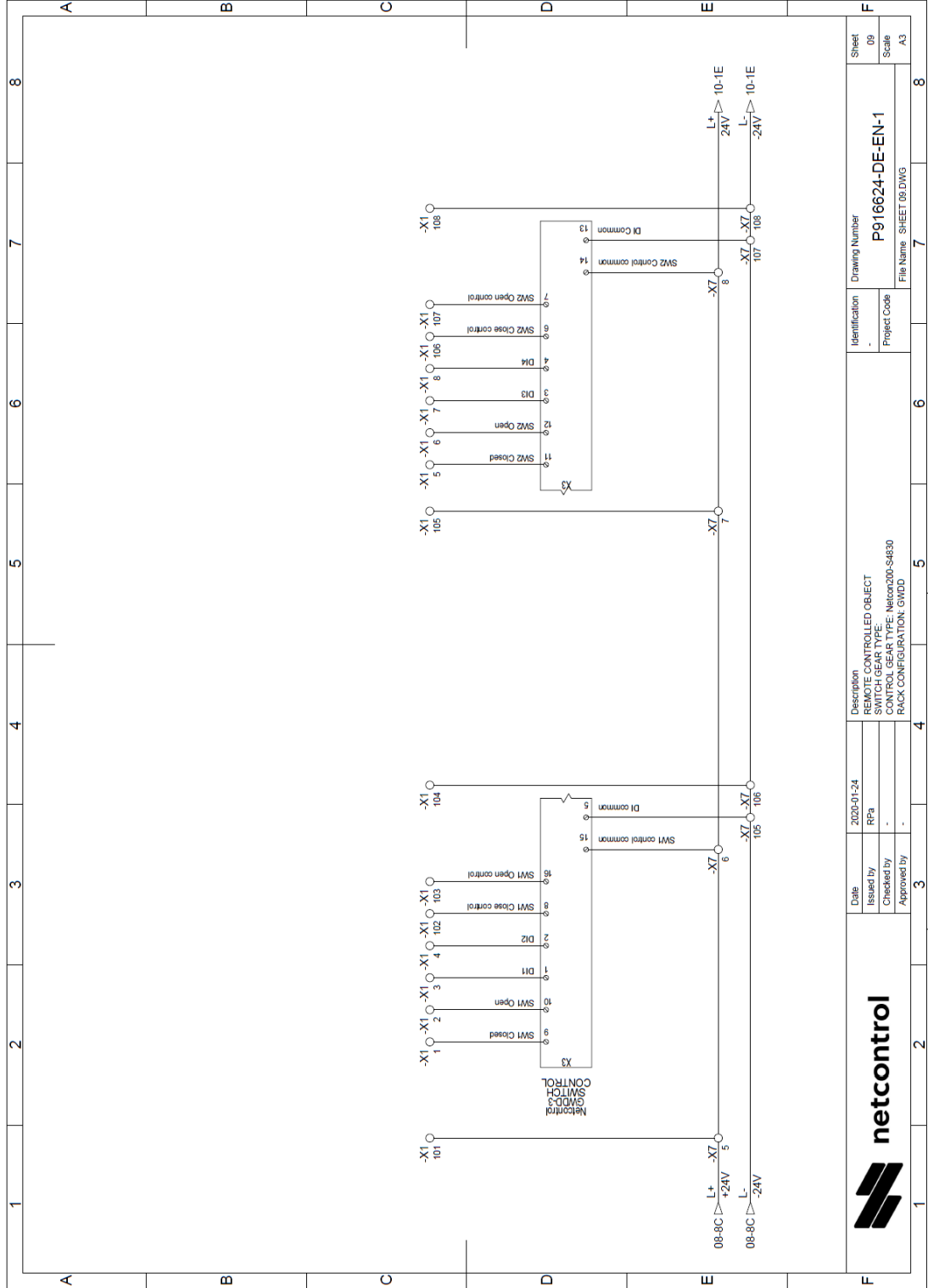
Tukes - Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. (2017). Tukes-opas: Sähkölaitteiden valmistus, maahantuonti ja myynti. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/6410920/Sahkolaitteiden-valmistus-maahantuonti-ja-myynti.pdf/62baf6c7-2560-438f-a6a2-b8c568c3c47c/Sahkolaitteiden-valmistus-maahantuonti-ja-myynti.pdf>

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2018). 33/2018. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä; Älyverkkotyöryhmän loppuraportti.

Valtari J. (2013). Centralized Architecture of the Electricity Distribution Substation Automation - Benefits and Possibilities. Tampere University of Technology. Tampere. Doctoral thesis.

VTT. (2006). Verkkovisio 2030. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2361.pdf>

# LIITE A: PIIRIKAAVIO



Date	2020-01-24
Issued by	RPa
Checked by	-
Approved by	-

Description  
 REMOTE CONTROLLED OBJECT  
 SWITCH GEAR TYPE: Netcon300-S4830  
 RACK CONFIGURATION: GWOD

Identification	-
Project Code	-

Drawing Number	P916624-DE-EN-1
Sheet	09
Scale	A3

File Name: SHEET 08.DWG

# LIITE B: LAYOUT-KUVA

